

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Architettura per il Restauro e la
Valorizzazione del patrimonio

Tesi di Laurea Magistrale

**MODELLAZIONE E SIMULAZIONE ENERGETICA
DI UN EDIFICIO STORICO.**

**IL CASO STUDIO DEL CONSERVATORIO DI MUSICA
GIUSEPPE VERDI DI TORINO**

Energetic modeling and simulation of a historical building.
The case study of Conservatorio di musica *Giuseppe Verdi* in Turin



Relatore:
Prof. Stefano Paolo Corgnati

Candidata:
Vanessa Allegro

Co-relatori:
Prof. Alfonso Capozzoli

M. Sc. Arch. Giorgia Spigliantini

Torino
Settembre 2019

	INTRODUZIONE	
	Abstract	7
	English abstract	8
	Executive summary	10
	PARTE I	
Capitolo 1	Le politiche energetiche in Europa	14
1.1	Sviluppo sostenibile	14
1.2	Le Direttive Europee EPBD	16
Capitolo 2	Strategie per il recupero energetico nell'edilizia storica e monumentale	21
2.1	Il progetto europeo <i>3encult</i>	21
2.2	La UNI EN 16883:2017. Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici	23
2.3	Le Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale	25
Capitolo 3	Il retrofit energetico negli edifici storici	29
3.1	Lo stato dell'arte delle ricerche scientifiche	29
3.2	Situazione del parco immobiliare italiano: edifici storici ed edifici vincolati	32
3.3	Limiti e criticità nelle pratiche di efficientamento energetico in edifici storici o tutelati riscontrati in letteratura	33
Capitolo 4	Il ruolo dell'occupante e le simulazioni energetiche	37
4.1	La gestione del ruolo dell'occupante come strategia di <i>retrofit</i> negli edifici storici	37
4.2	Il controllo del comportamento dell'occupante nelle simulazioni energetiche	41
4.3	Simulazioni energetiche di edifici storici	45
4.4	Obiettivo della tesi	47
	PARTE II	
Capitolo 5	Simulazione dinamica del caso studio: il Conservatorio di musica <i>G. Verdi</i> di Torino	51
5.1	Breve cronistoria del Conservatorio	51
5.2	Metodo di costruzione del modello	54
5.3	Inquadramento: dati sulla località e il clima	58
5.4	Il rilievo dello stato di fatto	59
5.5	Impostazione del modello nel <i>software</i> di simulazione	68
5.6	Zone termiche	69
5.7	Involucro opaco	74
5.7.1	Chiusure verticali e orizzontali	74

5.7.2	Porte	75
5.8	Involucro trasparente	76
5.8.1	Sistemi di oscuramento	78
5.9	Ponti termici	80
5.10	Infiltrazioni da involucro	80
5.11	Proprietà del terreno	81
5.12	Apporti termici interni	81
5.12.1	Illuminazione artificiale	82
5.12.2	Apparecchi elettrici	83
5.12.3	Occupazione degli ambienti	84
5.13	Definizione dei profili temporali: <i>le schedules</i>	85
5.13.1	<i>Schedule</i> finestre ed elementi oscuranti	86
5.13.2	<i>Schedule</i> occupanti	88
5.13.3	<i>Schedule</i> illuminazione artificiale	90
5.13.4	<i>Schedule</i> apparecchi elettrici	91
5.14	Calcolo degli <i>ideal loads</i>	92
5.15	Descrizione degli impianti e modellazione nel <i>software</i>	94
5.15.1	Tipologie dei sistemi di climatizzazione presenti nel Conservatorio	94
5.15.2	Sistema di generazione	95
5.15.3	Modellazione degli impianti nel <i>software</i> di simulazione	98
5.16	Risultati della simulazione e calibrazione	103
	PARTE III	
Capitolo 6	Implementazione delle strategie di gestione energetica ottimale	123
	Conclusioni	129
	Bibliografia	132
	ALLEGATI	
	Allegato A	141
	Allegato B	156
	Allegato C	165
	Allegato D	166

INTRODUZIONE

Secondo la UNEP (*United Nations Environment Programme*), il settore edilizio sarebbe responsabile del 40% del consumo totale di energia a livello mondiale. Le politiche energetiche attuali emanate a livello internazionale puntano non solo alla riduzione dei consumi, ma anche alla riduzione delle emissioni di CO₂ nell'ottica di un futuro sostenibile. Il territorio nazionale italiano è altamente energivoro poiché il 30% del tessuto edilizio risulta essere costruito prima del 1945; di questi, l'1,8% è costituito da edifici tutelati, i cui costi dei consumi energetici vanno a pesare sui bilanci della pubblica amministrazione che li ha in gestione.

La letteratura sottolinea che le soluzioni di efficientamento per edifici nuovi ed esistenti risultano decisamente avanzate, lo stesso non si può dire per gli edifici storici, i quali soffrono della mancanza della giusta compenetrazione tra pratiche di efficientamento e conservazione dei valori culturali.

I *software* di simulazione energetica sono ad oggi gli strumenti più utilizzati per comprendere il comportamento di un edificio in termini di prestazioni energetiche. Essi vengono impiegati per prendere decisioni progettuali, sia per il nuovo che per interventi di *retrofit* su edifici esistenti; tuttavia, sono ancora pochi i lavori che studiano soluzioni di *retrofit* in edifici storici attraverso l'utilizzo della simulazione energetica in regime dinamico.

I risultati generati da tali *software* spesso non predicano esattamente quello che accadrà nella realtà; il motivo di questa inesattezza risiede nel fatto che i consumi reali di un edificio sono influenzati anche dall'interazione che gli occupanti hanno con esso. L'obiettivo di questo lavoro è pertanto quello di sopperire ai limiti dello strumento di simulazione inserendo dati vicini alla realtà. Il fine è ottenere una base affidabile su cui individuare gli sprechi derivanti da una gestione poco appropriata dell'edificio. Una volta validato il modello verranno implementate strategie di gestione ottimale degli impianti per la riduzione dei consumi.

Per tale scopo è stato utilizzato il *software* di simulazione energetica dinamica IDA-ICE ed il caso studio è un edificio storico di Torino, il Conservatorio di musica "Giuseppe Verdi".

Il metodo del lavoro prevede 4 fasi principali:

1. Creazione del modello geometrico dell'edificio;
2. Modellazione degli impianti e inserimento di dati di utilizzo reali;
3. Simulazione e calibrazione del modello;
4. Implementazione delle strategie di gestione ottimale.

I risultati generati in seguito all'implementazione delle strategie mostrano come sia possibile ridurre considerevolmente i consumi energetici semplicemente adottando degli atteggiamenti tesi al risparmio.

Il presente lavoro vuole sottolineare l'importanza dell'educazione dell'occupante - sia esso un gestore dell'edificio oppure un semplice utente - per una corretta gestione delle risorse energetiche.

The United Nations Environment Programme (UNEP) attributed 40% of the World's energy consumption to the building sector.

Nowadays, international energy policies aim to reduce both energy consumption and greenhouse gas emissions in order to develop a more sustainable future.

Considering that 30% of the Italian built environment has been raised before 1945, the energy consumption in our country is enormous. The national scenario shows a considerable amount of historical buildings, only 1,8 % of which is listed. Energy expense in these buildings is high and it strains the budget of the public administration, which often manages the majority of those.

As the literature states, energy efficiency measures are innovative yet incisive on modern buildings, while historical buildings struggle to improve their efficiency without compromising architectural and core values.

Energy simulation software is currently the most qualified tool to understand energy performance in both modern and historic buildings. Their use could help the designing process but, despite its benefits, it is rarely applied to develop retrofit solutions for historic buildings.

On the other side, these software carry critical issues: they can hardly shape a completely accurate simulation. Energy consumption is indeed influenced by the users' behaviour, a variability that could lead the software to fail.

This work aims to overcome the limits of the simulation tool by entering a building's real usage data. The goal is to obtain a reliable model and to identify the eventual energy waste, due to inaccurate energy management of the building. The study will therefore implement desirable strategies to reduce energy consumption and develop optimal management.

The research focused on a historical building of Turin, the Conservatorio Statale di Musica "Giuseppe Verdi." The selected tool has been the dynamic simulation software IDA-ICE (Indoor Climate and Energy by EQUA Simulation).

The working method develops through four main phases, as follow:

- 1. Geometric model construction*
- 2. Plant modelling and real use data input*
- 3. Dynamic simulation and calibration*
- 4. Implementation of optimal energy management strategies*

Following on from a further simulation run after the energy management optimisation, the results show that it is possible to reduce energy consumption by adopting energy-saving behaviours regarding the HVAC system's functioning.

This thesis highlights the importance of appropriate users' behaviour for the correct management of energy resources.

Negli ultimi anni la consapevolezza legata agli effetti del comportamento umano sul cambiamento climatico e l'ambizione verso un futuro più sostenibile hanno rivestito un ruolo fondamentale all'interno delle questioni politiche e legislative di tutto il mondo, e saranno di primaria importanza per il prossimo futuro.

Secondo la Commissione europea, il settore edilizio potrebbe abbattere fino al 90% delle emissioni, aspirando allo sviluppo di un parco immobiliare ad alta efficienza energetica. In tal senso sono state elaborate strategie politiche per contenere i consumi energetici provenienti da questo settore, tuttavia l'attenzione rimane prevalente nei confronti di edifici di nuova costruzione ponendo in secondo piano gli edifici storici, i quali spesso vengono esonerati dalle pratiche di efficientamento in virtù della salvaguardia dei loro valori patrimoniali.

Le pratiche di efficientamento energetico che interessano gli edifici - storici o meno - riguardano principalmente interventi sull'involucro e sui sistemi impiantistici; tuttavia per alcuni edifici, in particolare quelli storici, non sempre operare in questo senso rappresenta la soluzione ideale. Inoltre, è stato dimostrato che tra i fattori che influenzano il reale utilizzo di energia negli edifici vi è l'interazione che l'essere umano ha con la fabbrica.

Le stime ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) indicano che è possibile ridurre del 40% i consumi di energia con azioni di risparmio partendo da un cambio di comportamento da parte di gestori e utenti. Questo, sommato agli interventi sull'involucro di pregio (laddove possibile e consentito) e sui sistemi impiantistici, permetterebbero un risparmio di 73 milioni di euro, una spesa che attualmente pesa sui bilanci della pubblica amministrazione, responsabile di molti edifici storici.

Le ricerche scientifiche degli ultimi anni si stanno muovendo per capire in che modo il comportamento dell'occupante può avere un impatto sui risparmi di energia in seguito alla riqualificazione energetica; questa tesi esamina proprio questo concetto, analizzando un caso studio.

La tesi è strutturata in tre parti: la prima introduttiva e di analisi delle tematiche principali, necessaria per la scelta del metodo di lavoro da applicare al caso studio, trattato nella seconda parte in cui viene valutata la performance energetica dell'edificio oggetto di studio attraverso lo strumento della simulazione energetica. Infine nell'ultima parte vengono suggerite delle soluzioni di risparmio energetico in termini di gestione ottimale degli impianti.

Il primo capitolo si apre con l'enunciazione del concetto di sviluppo sostenibile e gli accadimenti più influenti in materia di riduzione dei consumi energetici a livello mondiale, concentrandosi sulla

rilevanza del settore edilizio. In seguito si rivolge l'attenzione al contesto europeo, analizzando le Direttive riguardanti le performance energetiche degli edifici. Nel secondo capitolo viene analizzato l'aspetto legislativo nell'ambito del recupero energetico del costruito storico. Si sottolineano le problematiche che derivano dalla mancanza di un'adeguata compenetrazione tra le pratiche di conservazione degli edifici storici e il miglioramento della loro efficienza energetica. Nel terzo capitolo viene esaminato lo stato dell'arte in merito ad interventi (possibili oppure realizzati) di *retrofit* energetico in edifici storici e le problematiche che insorgono quando c'è la volontà di conservare i valori culturali di un bene immobile e, al contempo, il tentativo di renderlo energeticamente più efficiente. Nel quarto capitolo si affronta il tema dell'occupante e del ruolo che esso riveste in combinazione con gli interventi di riqualificazione energetica in edifici storici. Viene spiegato il modo in cui l'*occupant behaviour* influenza i consumi reali di un edificio e come sia possibile raggiungere una predizione più veritiera della performance grazie a diversi metodi all'interno di software di simulazione energetica. In ultima analisi, viene affrontato il tema delle simulazioni energetiche di edifici storici, spesso ritenute difficili, data anche la scarsità di letteratura a riguardo.

Conclusa l'analisi, si apre la parte centrale del lavoro con il quinto capitolo in cui viene analizzato il Conservatorio di musica di Torino, ovvero il caso studio scelto per condurre la diagnosi energetica. La prima parte di questo capitolo verte sull'acquisizione dei dati di input, per quanto riguarda i dati climatici, quelli geometrici, gli impianti ed infine i dati sull'utilizzo. Questa parte è essenziale per la costruzione di un modello affidabile su cui poter proseguire con l'investigazione. In base ai parametri inseriti verranno condotte due simulazioni: la prima con dati da normativa per la verifica del dimensionamento degli impianti e la seconda, con dati di utilizzo reale per l'analisi dei consumi dell'edificio. Una volta ottenuti i primi risultati si passa alla calibrazione del modello, un processo iterativo che consiste nella modifica dei dati di input per la riduzione della discrepanza tra i consumi simulati dal programma e quelli reali.

Ottenuto un modello valido, nell'ultima parte di questo lavoro vengono illustrate le strategie proposte come soluzione per ridurre i consumi energetici del Conservatorio di musica. I risultati ottenuti mostrano come sia possibile raggiungere risparmi energetici considerevoli semplicemente adottando azioni tese al risparmio. Ciò significa, anche in termini di sviluppi futuri, che il metodo seguito per questo lavoro può essere applicato ad altri casi.

PARTE I

LE POLITICHE ENERGETICHE IN EUROPA

Il primo capitolo si apre con l'enunciazione del concetto di sviluppo sostenibile ed il susseguirsi degli accadimenti più influenti in materia di salvaguardia ambientale e riduzione dei consumi energetici a livello mondiale, concentrandosi sulla rilevanza del settore edilizio. Successivamente si rivolge l'attenzione al contesto europeo, parlando delle Direttive riguardanti le *performance* energetiche degli edifici, che vengono analizzate nei loro punti salienti.

1.1 SVILUPPO SOSTENIBILE

“Sviluppo sostenibile” e “sostenibilità” sono concetti entrati a far parte delle pratiche di progettazione, in primis per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione ma anche per ciò che concerne gli interventi sul costruito. Ma a quando far risalire l'introduzione di tali concetti?

Una prima definizione di sviluppo sostenibile si ha nel rapporto “Our Common Future” pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (Commissione Brundtland) del Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente, dove per sviluppo sostenibile si intende uno sviluppo che permette di adempiere alle necessità della generazione attuale senza però precludere alle generazioni future la possibilità di soddisfare i propri bisogni, in termini di utilizzo delle risorse naturali [1]. Questa definizione è strettamente legata alla compatibilità tra sviluppo delle attività economiche e la salvaguardia dell'ambiente: lo scopo, in quest'ottica, sarebbe la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia come finalità principale il rispetto dell'ambiente e l'adozione di processi produttivi e stili di vita compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane.

Negli anni successivi al Rapporto Brundtland si susseguirono diversi incontri e conferenze internazionali fino ad arrivare al 1997, anno in cui, durante la Conferenza di Kyoto in Giappone, è stato elaborato un protocollo che stabilì tempi e procedure per realizzare gli obiettivi del trattato United Nations Framework Convention on Climate Change (Unfccc), firmato a Rio de Janeiro nel 1992 durante lo storico Summit sulla Terra riguardante il cambiamento climatico [2]. Il protocollo di Kyoto è uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali atti a combattere i cambiamenti climatici. Esso entrò in vigore nel 2005 ed è l'accordo internazionale che sancisce l'obbligo da parte dei paesi industrializzati ad una limitazione delle emissioni ritenute responsabili dell'effetto serra (i

così detti *Greenhouse gases*, GHG), dei cambiamenti climatici e del surriscaldamento globale [3]. L'obiettivo sancito fu la riduzione delle emissioni totali dei paesi sviluppati di almeno il 5% nel periodo che va dal 2008 al 2012, rispetto ai livelli che si avevano nel 1990.

Per attuare gli obiettivi espressi nel Protocollo di Kyoto, l'UE adottò un piano chiamato "Pacchetto clima-energia 20-20-20" [4], approvato nel dicembre 2008 con il quale l'UE si pone tre principali obiettivi da perseguire entro il 2020:

- Ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra;
- Ridurre del 20% i consumi;
- Aumentare del 20% il consumo di energia da fonti rinnovabili.

Questo programma fa capire come, da quel momento in avanti, le politiche energetiche in Europa si siano focalizzate preminentemente sulla configurazione di un'economia attenta ai consumi energetici, tramite un drastico taglio di emissioni di CO₂ e all'aumento della quota di produzione dell'energia da fonti rinnovabili, coinvolgendo in modo predominante il campo edilizio.

Sempre nel pacchetto di obiettivi sul clima elaborati dall'Unione Europea, viene emanato nel 2011 il documento "Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050", contenente le strategie da adottare in vista del 2050. L'obiettivo a lungo termine è quello di arrivare a una riduzione delle emissioni di CO₂ fino all'80%, con un approccio di intervento mirato verso i settori più importanti, tra cui l'ambiente edificato. Secondo le analisi condotte dalla Commissione Europea, il settore edilizio mostra notevoli potenzialità, in quanto sarebbe possibile abbattere le emissioni di circa il 90% entro il 2050, dato superiore alla media rispetto gli altri settori [5].

Le strategie esposte finora sono a fronte del fatto che ad oggi il pianeta si trova innanzi a profondi mutamenti climatici, proprio a causa dei gas climalteranti noti come GHG, per cui in assenza di azioni concrete vi è il rischio di incorrere entro pochi anni ad un punto di non ritorno [6].

L'International Energy Agency (IEA) ha dimostrato che dal 1971 al 2014 il consumo mondiale di energia ha subito un incremento del 92%, ed il settore edilizio ha contribuito in modo significativo a questo aumento. Nel 2009 la UNEP (United Nations Environment Program) ha attribuito più del 30% di gas serra e 40% del consumo totale di energia al settore edilizio [7]. Tuttavia, l'attenzione che l'UE ha posto sia all'interno del "Pacchetto clima-energia 20-20-20" che nella successiva strategia a lungo termine, è stata prevalentemente nei confronti della costruzione di edifici nuovi ed efficienti e la ristrutturazione di quelli esistenti; al contrario, per gli edifici storici (siano essi vincolati o no) non sono state elaborate strategie particolari [7].

1.2 LE DIRETTIVE EUROPEE

La **Direttiva 2002/91/CE** del Parlamento Europeo sulle prestazioni energetiche degli edifici (*Energy Performance of Building Directive*, EPDB), pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale il 4 gennaio 2003, si propone come obiettivo quello di «promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi.» [8] Essa contiene i criteri per i quali può avvenire la riduzione dell'uso di energia impiegata nel settore edilizio, ovvero:

- L'adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici;
- L'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione ed esistenti;
- La certificazione energetica degli edifici;
- L'ispezione periodica di caldaie e dei sistemi di condizionamento dell'aria;
- La perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

La Direttiva si rivolge tanto agli edifici di nuova costruzione quanto a quelli esistenti. In particolare, per quanto riguarda quelli esistenti, la Direttiva si applica ad «edifici di metratura totale superiore a 1000 mq», «sottoposti a importanti ristrutturazioni» per far sì che «il loro rendimento energetico sia migliorato al fine di soddisfare i requisiti minimi per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile».

La Direttiva all'art. 4 comma 3 stabilisce inoltre che gli Stati membri sono liberi di non applicare i requisiti di rendimento energetico per alcune categorie di costruzioni, tra cui:

- Edifici adibiti a luoghi di culto;
- Edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto.

Ciò implica che, per queste tipologie di edifici, spesso ci si avvale della facoltà di intervenire in modo poco incidente oppure di non intervenire affatto, proprio perché intervenire richiederebbe uno studio più accurato e approfondito data la natura particolare degli edifici.

La **Direttiva 2010/31/CE (EPBD Recast)** è stata emanata dall'Unione Europea nel maggio 2010 ed ha rivisto e abrogato la precedente Direttiva 2002/91/CE [9]. La rivisitazione di tale Direttiva è stata ordinata al fine di chiarire, ampliare e rafforzare le disposi-

zioni antecedenti. Rimangono inalterati gli obiettivi e i principi fondamentali, nonché il ruolo di ciascun Stato membro, tuttavia si attua:

- Il rafforzamento del ruolo degli attestati di prestazione energetica (art. 11): in particolare, vengono ampliati gli obblighi dei requisiti minimi di prestazione energetica, non solo per quanto riguarda ristrutturazioni importanti dell'involucro di un edificio ma anche per le misure attuate per singoli elementi edilizi, a prescindere da ristrutturazioni importanti (comma 2). Viene di fatto abolita la soglia dei 1000 mq per gli edifici sottoposti a grandi ristrutturazioni (art. 7), affermando che anche per singole parti di edificio, in occasione di interventi, è necessario rispondere ai requisiti minimi di prestazione energetica richiesti, per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente possibile. Nella medesima Direttiva viene esplicitamente richiesto che la certificazione energetica venga rilasciata per ogni edificio di nuova costruzione e per ogni immobile immesso sul mercato (per vendita e locazione).
- Un ulteriore miglioramento degli obiettivi di *performance* energetica degli edifici di nuova realizzazione: tutti gli edifici di nuova costruzione realizzati entro il 31 dicembre 2020 dovranno essere edifici a energia quasi zero (NZEB) (art. 9), con sistemi di fornitura energetica basati su energia da fonti rinnovabili (art. 6).
- Il ruolo simbolico degli edifici pubblici come esempio per la diffusione della cultura della salvaguardia dell'ambiente e guida per un uso razionale delle risorse: gli Stati membri incoraggiano gli enti pubblici che occupano ed hanno in proprietà edifici di nuova costruzione a far sì che tali edifici siano a energia quasi zero a partire dal 31 dicembre 2018. Sempre gli enti pubblici sono incoraggiati ad esporre in un luogo chiaramente visibile per il pubblico l'attestato di prestazione energetica (art. 13).

Questi sono i punti salienti introdotti dalla Direttiva, che punta ad una regolamentazione più severa e rigida, al fine di raggiungere prestazioni più elevate da parte degli edifici, mirando sempre di più sulle nuove costruzioni. Un aspetto che, tuttavia, rimane invariato, è la distinzione tra edifici nuovi ed esistenti (art. 4), riproponendo il fatto che possono considerarsi esclusi da eventuali adeguamenti gli edifici religiosi e storici tutelati, nel caso in cui gli interventi possano arrecare danno al loro carattere o aspetto. Tale posizione fa sì che molti edifici vincolati rimangano "esenti" da qualsiasi tipo di intervento e che quindi perdurino nel restare altamente energivori.

La **Direttiva 2018/844/UE** del Parlamento europeo e del Consi-

glio dell'Unione Europea è l'ultimo testo vigente sulla prestazione energetica nell'edilizia ed è il frutto della revisione della precedente Direttiva 2010/31/CE, che modifica parzialmente [10].

Alla luce dei progressi compiuti nel corso dell'applicazione della precedente EPBD, la Direttiva del 2018 pone maggiore attenzione sull'ambiente costruito e sui mezzi che possono essere impiegati per raggiungere come obiettivo lo sviluppo di un parco immobiliare ad alta efficienza energetica.

Le finalità della nuova Direttiva che gli Stati membri devono perseguire sono:

- Attuare strategie di ristrutturazione a lungo termine (art. 8) aumentando le ristrutturazioni importanti (art. 10) ed introducendo concetti come “soglia di intervento”, ovvero il momento opportuno nel ciclo di vita di un edificio per la realizzazione dell'intervento di riqualificazione (art. 12);
- Sostenere la mobilitazione degli investimenti tramite accessi paritari a finanziamenti e agevolazioni fiscali, tenendo conto dell'accessibilità economica dei consumatori (art. 9);
- Sempre nell'ottica dell'incentivazione all'intervento di riqualificazione, viene raccomandata la predisposizione di strumenti di consulenza accessibili e trasparenti come “sportelli unici” (one-stop-shop) che guidino consumatori e investitori sulle modalità progettuali, esecutive e sugli strumenti finanziari disponibili (art. 16);
- Viene incoraggiato l'uso delle tecnologie informatiche per una digitalizzazione del settore edilizio (art. 29) e viene introdotto il concetto di “indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza” (art. 30) ovvero un indicatore che valuterà la capacità degli edifici di utilizzare le nuove tecnologie per adattarsi alle esigenze dell'occupante;
- Viene ridimensionato l'obbligo d'ispezione periodica degli impianti per il riscaldamento ed il condizionamento d'aria (art. 36) a quelli con potenza nominale minima utile > 70 kW. Viene inoltre prescritta la predisposizione dei requisiti per la dotazione di BACS (art. 37), sistemi di automazione e controllo, nei grandi edifici non residenziali (con potenza nominale minima utile > 290 kW).

Queste sono le priorità della Direttiva, che fa emergere la volontà di intervenire non solo sull'involucro dell'edificio ma anche su tutti gli altri elementi ed i sistemi tecnici, sottolineando l'importanza della gestione dei sistemi di climatizzazione, dell'automazione e dell'interazione che gli utenti hanno nei loro confronti. Ciò potrebbe essere verosimilmente esteso ed applicato anche ad edifici protetti per i quali non è possibile intervenire a livello d'involucro, tuttavia, per quest'ultimi, non vengono specificati particolari accorgimenti, esprimendo che «è opportuno promuovere la ricerca

e la sperimentazione di nuove soluzioni in grado di migliorare la prestazione energetica degli edifici e dei siti storici, garantendo allo stesso tempo la protezione e la conservazione del patrimonio culturale» (art. 18).

STRATEGIE PER IL RECUPERO ENERGETICO NELL'EDILIZIA STORICA E MONUMENTALE

Nel secondo capitolo rimane preminente l'aspetto legislativo, ora analizzato più approfonditamente nell'ambito del recupero energetico del costruito storico.

Lo scopo di tale capitolo è quello di mettere in luce le problematiche di natura legislativa che derivano dalla mancanza di un'adeguata compenetrazione tra le pratiche di conservazione degli edifici storici e il miglioramento della loro efficienza energetica.

Le strategie normative descritte tentano di colmare il divario esistente tra queste due pratiche, auspicando un approccio olistico e la cooperazione di un numero sempre più elevato di figure professionali esperte nei vari campi, proponendo metodologie da applicare in maniera diversificata per ciascun caso particolare.

2.1 IL PROGETTO EUROPEO "3ENCULT"

Il progetto *3encult* (Efficienza Energetica per il Patrimonio Culturale Europeo) è stato un progetto finanziato da fondi europei nell'ambito del VII Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo durante il periodo 2010-2014 [11]. L'intento di tale progetto è stato quello di colmare le lacune esistenti tra le pratiche di conservazione degli edifici storici e il miglioramento della loro efficienza energetica, sviluppando e testando soluzioni innovative, dimostrando che è possibile ridurre la domanda d'energia degli edifici storici anche tenendo conto dei loro valori culturali. Il progetto è stato condotto da un team multidisciplinare che ha visto riuniti università, enti di ricerca, imprese e altri soggetti pubblici e privati.

Il 14% del parco immobiliare europeo risale a prima del 1919, mentre il 26% a prima del 1945, anche se solo una parte di questo è vincolata. Le ragioni per intervenire sul patrimonio costruito, ed in particolar modo sugli edifici storici presenti in area urbana sono ovvie se si considera il loro elevato livello di inefficienza energetica e, conseguentemente, il loro contributo in emissioni di GHG. Tali effetti si devono principalmente a:

- Un isolamento inefficiente dell'involucro;
- Impianti obsoleti;
- Il frequente cambiamento dell'originaria destinazione d'uso.

Un'altra ragione altrettanto importante che spinge a intervenire in questo campo è che il patrimonio costruito europeo è altamente

significativo per il settore turistico e quindi fortemente legato alle entrate e alla crescita economica di ciascun paese.

Gli obiettivi generali del progetto riguardano il miglioramento della gestione dei flussi di energia in edifici storici che svolgono una funzione pubblica o sociale attraverso:

- Lo sviluppo di soluzioni attive o passive efficienti ed impiego di materiali locali già presenti sul mercato;
- La diagnosi e gli strumenti di monitoraggio per studiare lo stato degli edifici e proporre soluzioni di retrofit migliori dal punto di vista tecnologico, costruttivo ed energetico, per poi monitorare le performance raggiunte;
- Lo sviluppo di strumenti e *concepts* applicabili in altri contesti urbani. L'analisi è stata condotta per cercare di generalizzare le soluzioni trovate, identificare i fattori replicabili e il contesto in cui tale replica è possibile;
- Il suggerimento di possibili integrazioni e/o aggiunte alle regolamentazioni presenti, come nella EPDB 2010/31/CE che esclude gli edifici storici;
- La definizione di un approccio metodologico anche per il controllo dell'IEQ (*Indoor Environmental Quality*) di edifici storici che ospitano collezioni e opere d'arte.

Il progetto, nello specifico, verte sulla sperimentazione di otto casi studio in diversi paesi dell'Europa (Italia, Danimarca, Austria, Germania, Spagna e Svizzera), scelti per rappresentare un ventaglio di soluzioni diverse tra loro, per condizioni climatiche di appartenenza, usi, epoca, condizione conservativa, tecniche costruttive e necessità di intervento.

La metodologia di questa ricerca applicata per ogni caso studio si può riassumere in sei fasi, ovvero:

1. *Programme*. Si delineano gli obiettivi da raggiungere in termini di risparmio energetico;
2. *Pre-assessment*. Fase di conoscenza e analisi pre-interventi utilizzando metodi non invasivi.
3. *Proposals*. Si propone una lista di tutti i possibili interventi cui l'edificio potrebbe essere sottoposto per migliorare la propria efficienza energetica.
4. *Process*. Discussione all'interno di un team multidisciplinare che coinvolge *stakeholders* ed esperti dei vari settori per decidere quali interventi attuare e quali no, studiandone i possibili effetti.
5. *Project*. Fase di realizzazione degli interventi scelti.
6. *Post-assessment*. Fase a lavori ultimati che prevede il monitoraggio ed il controllo dei risultati, nonché la gestione della fabbrica in base al suo comportamento in seguito agli interventi.

Una volta conclusi i lavori relativi gli otto casi studio, il team coin-

volto nel programma ha provveduto ad espletare le varie fasi di questo progetto pubblicando *online* tutti i relativi report.

Le conclusioni più rilevanti che si possono trarre dai risultati relativi l'intero lavoro sono:

- Sebbene uno degli intenti principali di questo progetto sia stato il tentativo di identificare dei fattori replicabili in diversi contesti, non è comunque possibile creare uno “*standard*”, un'unica soluzione possibile universalmente applicabile, in quanto ogni edificio storico è unico, con le sue complessità e specificità. Al contrario, il progetto propone un “gruppo di pratiche” con lo scopo di trovare la soluzione più appropriata per ogni caso specifico; solo così sarà possibile ottenere un intervento in grado di coniugare la materia storica con le nuove esigenze energetiche e far sì che tali edifici continuino a sopravvivere mantenendoli “vivi”.
- Gli interventi che hanno avuto gli esiti più positivi sono stati quelli che hanno coinvolto il più alto numero di esperti (in modo particolare *stakeholders*, utenti, progettisti, conservatori ed esperti dell'energia). Quindi, solo se si procede con un approccio olistico e multidisciplinare si può garantire l'applicazione di soluzioni energeticamente efficienti e di alta qualità, adattate ad ogni caso studio.
- In ultimo, gli esperti coinvolti nel progetto hanno suggerito alcune integrazioni per gli edifici storici all'interno dell'EPBD 2010/31/CE. Essi hanno raccomandato ispezioni regolari del sistema HVAC e la redazione di certificati energetici anche per gli edifici storici, proponendo come requisito l'analisi obbligatoria dei potenziali risparmi energetici. Questa volontà è stata parzialmente esaudita nell'ultima EPBD del 2018 anche se non specificatamente per gli edifici storici ma più in generale per tutti gli edifici esistenti.

2.2 LA UNI EN 16883:2017. LINEE GUIDA PER MIGLIORARE LA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI STORICI.

La UNI EN 16883:2017 [12] è una norma europea elaborata dal Comitato Tecnico CEN/TC 346 “Conservation of Cultural Heritage”, emanata dalla Commissione Tecnica UNI a maggio 2017 ed entrata a far parte del corpo normativo italiano il 15 giugno 2017. L'obiettivo principale di tale normativa è ridurre la richiesta di energia e l'emissione di GHG negli edifici storici senza diminuzioni significative del valore del patrimonio costruito esistente e dell'ambiente.

Gli edifici interessati non devono essere necessariamente solo quelli catalogati come beni culturali, ma in generale ci si riferisce a tutti gli edifici storici di ogni tipo ed epoca. Inoltre, la norma non presuppone che tutti gli edifici storici richiedano miglioramenti della prestazione energetica; al contrario, è previsto che seguendo la procedura proposta ci si accorgerà che non vi è alcuna necessità di intervenire per migliorare la prestazione energetica, si arresterà il processo.

Tale normativa non è un insieme di possibili interventi applicabili al patrimonio edilizio storico, bensì descrive una procedura da seguire al fine di identificare la necessità di intervento per il miglioramento della prestazione energetica; delle linee guida, appunto, per la pianificazione e la scelta delle misure. Fornisce dunque un processo iterativo da seguire laddove sono necessarie considerazioni particolari per trovare un bilancio sostenibile tra l'uso dell'edificio, la sua prestazione energetica e la sua conservazione.

La norma affianca le norme esistenti sulla prestazione energetica del patrimonio edilizio non storico e si focalizza sugli edifici storici mostrando come le norme esistenti possano essere adeguatamente applicate.

Esattamente come nel progetto *3encult*, all'interno di questa normativa viene puntualizzata la necessità di un approccio multidisciplinare, ovvero l'esigenza di riunire tutte le figure direttamente coinvolte (proprietari, utenti, autorità competenti nel caso di edifici sotto tutela), nonché un team di esperti dei vari settori (progettazione, conservazione e gestione dell'energia) per i quali vengono chiariti requisiti e competenze al fine di condurre i lavori nel migliore dei modi.

La norma punta inoltre a tenere conto della gestione sostenibile dell'edificio, considerando la sua conservazione e l'uso nel lungo termine ed invita all'ottimizzazione dei sistemi tecnici esistenti (prima di essere sostituiti) per sfruttare al meglio lo stato di fatto prima di considerare ulteriori interventi.

La procedura proposta dalla norma si può suddividere in tre fasi principali:

1. L'obiettivo della prima fase è l'indagine di conoscenza dell'edificio per arrivare a formulare una decisione sulla necessità (o meno) del miglioramento di prestazione energetica. In questa fase è necessario anche condurre una valutazione del reale uso di energia dell'edificio, per la quale ci si può affidare alle normative già in uso e valide per gli edifici non storici. Tuttavia, in alcuni casi potrebbe essere necessario ricorrere alla valutazione della prestazione energetica adattata all'utenza. Per questa tipologia di valutazione è necessaria un'attenzione speciale per la raccolta di dati in ingresso: generalmente, infatti, i dati forniti per i modelli di calcolo non tengono conto delle specifiche

condizioni degli edifici storici. Per aumentare il livello di affidabilità del modello calcolato viene raccomandato l'uso di un modello di calcolo dell'edificio validato.

2. Una volta affrontata la conoscenza della fabbrica si può procedere con la specificazione degli obiettivi che si vogliono raggiungere, i quali potrebbero essere rivisti durante il processo. È importante che ciascuna misura di miglioramento sia integrata in una strategia di gestione dell'edificio a lungo termine. Stabiliti gli obiettivi si procede con la decisione sulla necessità di miglioramento della prestazione energetica. Se si arriva alla conclusione che non vi è necessità di miglioramento, il lavoro si ferma. Se, al contrario, vi è necessità di miglioramento, si avvia la seconda fase relativa al processo di scelta degli interventi. Le misure per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici possono essere:
 - Cambiamenti del fabbricato;
 - Fornitura e controllo dell'energia;
 - Comportamento degli utenti. Il processo è graduale e va seguito passo dopo passo dal gruppo di esperti multidisciplinare. Il metodo proposto è basato su uno schema rischi-benefici per identificare le misure migliori ed eliminare quelle inappropriate. Il risultato è una lista breve contenente delle misure potenzialmente realizzabili. Vengono poi scelti uno o più pacchetti di misure alternativi che il gruppo di esperti valuterà relazionandoli con gli obiettivi prefissati durante la prima fase di indagine e conoscenza della fabbrica. Successivamente si passa all'implementazione, valutazione e documentazione delle misure di miglioramento. Durante l'implementazione, nel caso di edifici storici, è più alta la probabilità di circostanze impreviste o necessità di cambiamenti; a causa di ciò sono richiesti una buona gestione e un controllo continuo in corso d'opera.
3. La terza ed ultima fase di questo processo è la valutazione post-occupazione. Le misure implementate devono essere valutate successivamente per assicurare che gli obiettivi siano stati effettivamente raggiunti e gli effetti desiderati realizzati.

In ultimo, si raccomanda la costante manutenzione (soprattutto dopo gli interventi) come migliore misura di conservazione.

2.3 LE LINEE DI INDIRIZZO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL PATRIMONIO CULTURALE.

Le "Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale" costituiscono ad oggi l'unico testo italiano in grado di unire in modo sufficientemente approfondito

il tema dell'efficientamento energetico con le pratiche del restauro, tutela e valorizzazione del patrimonio culturale [13].

La redazione del testo è il risultato del lavoro di un gruppo di esperti costituito con d.d.g. (decreto del Direttore generale del Ministero) del 20/08/2013 ognuno dei quali ha apportato il contributo relativo al proprio campo di competenza.

Queste linee guida «forniscono indicazioni per la valutazione e per il miglioramento della prestazione energetica del patrimonio culturale tutelato, con riferimento alle norme italiane in materia di risparmio e di efficienza energetica degli edifici» ponendosi come principali obbiettivi:

- Dare indicazioni operative tanto ai progettisti quanto al personale del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, in modo tale da consentire di instaurare un dialogo produttivo tra le varie figure a partire dalla stessa base tecnico-scientifica;
- Fornire un metodo agli organi preposti alla tutela del patrimonio tale da poter attuare una valutazione critica dei progetti presentati ai fini del rilascio delle autorizzazioni di legge;
- Contenere i costi di gestione delle strutture date in consegna alla pubblica Amministrazione, di cui una voce non trascurabile è rappresentata dalle forniture di energia e combustibili.

Se la riduzione dei consumi energetici significa anche riduzione delle emissioni in atmosfera di sostanze inquinanti, ecco che allora la tutela ambientale va di pari passo con la tutela del patrimonio vincolato.

Tale documento fornisce una metodologia sotto forma di linee guida, accompagnata da una serie di interventi attuabili in contesti storici tutelati, facendo tuttavia riferimento alla normativa esistente in materia di efficientamento energetico. Ci si rimette pertanto all'esperienza e alla sensibilità dei progettisti per quanto riguarda ogni caso particolare; le linee d'indirizzo si limitano ad offrire numerosi esempi di interventi possibili, corredate di una ricca bibliografia e diverse schede specifiche in cui vengono approfonditi i materiali compatibili, si fornisce un indice di interventi possibili e una scelta di "buone pratiche", ovvero interventi effettivamente realizzati considerati in modo positivo.

Il primo capitolo del documento si apre con il quadro normativo in cui viene esposta in modo sintetico la normativa italiana (e non) vigente per ciò che concerne l'efficientamento energetico.

Nel capitolo successivo, viene affrontato il tema della "conoscenza dei contesti", ovvero i criteri da seguire per una corretta conoscenza dell'edificio, in ogni suo aspetto rilevante, in vista della valutazione energetica.

Il terzo capitolo è quello più interessante ai fini di questo lavoro di tesi, in quanto è incentrato sulla valutazione dell'efficienza energetica per il patrimonio culturale. Viene esaminata la diagnosi energetica negli edifici storici, la quale ha per scopo la valutazione dei consumi energetici dell'edificio al fine di ridurli, nel rispetto delle condizioni di qualità dell'ambiente interno.

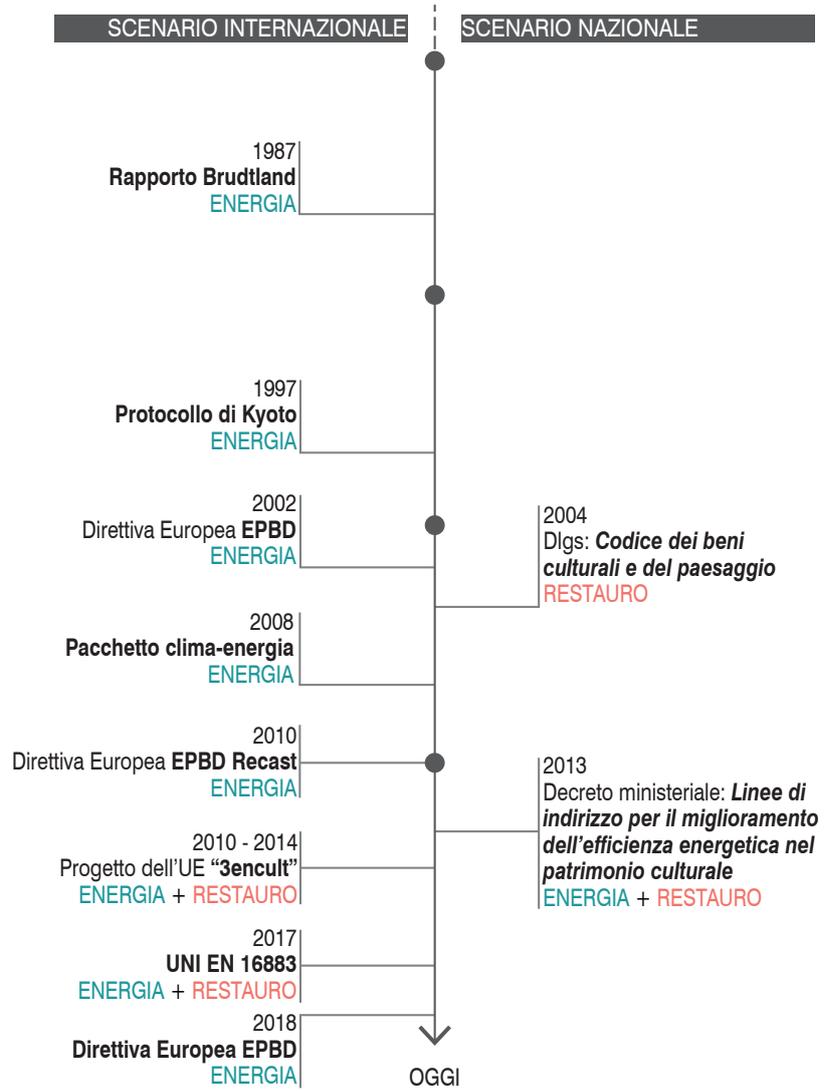
La diagnosi energetica negli edifici storici è tutt'altro che semplice. Questo poiché quando si ha a che fare con edifici esistenti spesso vi è una mancanza di piante e sezioni adeguate per la conoscenza dei materiali e delle stratigrafie delle pareti, oppure che siano significative dal punto di vista termotecnico. Per questi motivi è utile ricorrere alle ricerche in archivio oppure a tecniche non distruttive per risalire alla stratigrafia delle pareti.

Per quanto riguarda gli interventi di *retrofit* energetico (esposti dettagliatamente nel capitolo 4 delle "Linee di Indirizzo"), viene suggerito di affrontare questi interventi seguendo i principi propri del campo del restauro, ovvero compatibilità, reversibilità, minimo intervento, distinguibilità nuovo/antico e rispetto dell'autenticità. Viene infatti ribadito come questi principi, così come nel restauro, dovrebbero appartenere anche alle pratiche del riuso, della ristrutturazione, del miglioramento strutturale, impiantistico e tecnologico.

Per citare alcuni esempi, già durante l'*iter* di progettazione viene consigliato di indirizzare i percorsi degli impianti nelle zone di minore valenza storica del fabbricato, così come si raccomanda di effettuare i lavori il più possibile "a secco" per evitare gli interventi murari, ed infine di prevedere fori e alloggiamenti di cavi e tubazioni da contenere nella sezione minima indispensabile.

Il rapporto fra restauro e impianti viene approfondito ulteriormente affermando che oggi, nonostante in letteratura si siano fatti diversi passi avanti, risulta essere ancora poco approfondito e teoricamente meno fondato, al contrario di quanto succede in parallelo per quanto riguarda il rapporto fra restauro ed esigenze di piena accessibilità (ovvero superamento delle barriere architettoniche) o anche restauro e opere di consolidamento strutturale.

Figura 1. Schematizzazione su linea del tempo delle normative analizzate sia a livello nazionale che internazionale



IL RETROFIT ENERGETICO NEGLI EDIFICI STORICI

Nel terzo capitolo viene trattata un'analisi bibliografica che intende mostrare non solo lo stato dell'arte degli studi scientifici condotti in merito ad interventi (possibili oppure realizzati) di retrofit energetico in edifici storici ma anche di mettere in luce le principali problematiche che insorgono quando c'è la volontà di conservare i valori culturali di un bene immobile e, al contempo, il tentativo di renderlo energeticamente più efficiente.

3.1 LO STATO DELL'ARTE DELLE RICERCHE SCIENTIFICHE

Per comprendere meglio l'interazione tra i due temi protagonisti di questo lavoro di tesi - efficientamento energetico ed edifici storici - sono stati analizzati numerosi articoli scientifici riguardanti approfondimenti di queste due tematiche, in modo tale da restituire uno "stato dell'arte" in merito alla questione.

Innanzitutto è doveroso capire quando hanno cominciato a comparire queste tipologie di ricerche e come si sono distribuite negli anni.

Un contributo a tal proposito viene offerto dalla ricerca di Martínez-Molina *et al.*[7] condotta nel 2015 in cui viene messo in correlazione il numero di pubblicazioni effettuate tra il 1978 e il 2014 rispetto ai livelli di PIL. Il trend generale di queste pubblicazioni è in costante crescita, tuttavia si nota che le pubblicazioni diminuiscono durante periodi economici fiorenti. Infatti con la crisi finanziaria mondiale del 2007 si ha un picco di crescita dovuto al fatto che la stagnazione economica tende a comportare l'aumento di politiche di risparmio anche nel campo energetico.

I primi studi riguardo l'efficientamento energetico di edifici storici risalgono alla fine degli anni Settanta e i primi anni Ottanta del secolo scorso; questo poiché le due crisi petrolifere del 1973 e 1979 hanno creato la necessità di cominciare a cercare misure per migliorare l'efficienza energetica degli edifici. Queste prime ricerche si concentrano sulla riduzione del consumo di energia degli edifici migliorandone l'isolamento e la performance dell'involucro edilizio.

Nel momento in cui l'economia globale migliora e l'attenzione si sposta sulla costruzione e lo sviluppo, l'interesse per l'efficientamento di edifici storici incontra un calo: tra il 1983 e il 1998,

ovvero nell'arco di quindici anni, sono state pubblicate solo due ricerche.

L'interesse per l'argomento riprende nel periodo tra il 1999 e il 2010. In questi anni vi sono stati progressi tecnologici che hanno portato all'implementazione di tecniche per l'analisi non invasiva della performance energetica negli edifici storici (come la termografia) e sono stati introdotti nuovi temi d'indagine come il confronto tra tecniche costruttive antiche e moderne, l'analisi delle condizioni interne dell'aria e indagini sugli occupanti.

Tra il 2005 e il 2010 vi sono anche pubblicazioni in cui si punta a trovare un equilibrio tra il miglioramento del *comfort* termico negli edifici storici che contengono opere d'arte e il rispetto dei valori del patrimonio dell'edificio mantenendo il consumo di energia in *range* controllati. Tra il 2011 e il 2014 la quantità di pubblicazioni aumenta drasticamente in quanto il tema dello sviluppo sostenibile legato al recupero di edifici storici diventa centrale; basti pensare all'entrata in vigore della Direttiva europea EPBD *Recast* avvenuta nel 2010. Infine tra il 2013 e la prima metà del 2014 le ricerche iniziano a diversificarsi in termini di contenuto e tipologia di edificio esaminato, concentrandosi sul riutilizzo di edifici tutelati proponendo soluzioni possibili per migliorare l'efficienza energetica tutelando anche i valori del patrimonio.

Un altro elemento da contestualizzare è l'area geografica che interessa tali pubblicazioni. La maggior parte di queste indagini è svolta da parte di gruppi di ricerca i quali utilizzano casi studio del proprio paese, anche se il diffusissimo patrimonio storico di alcuni paesi (come l'Italia), attira ricercatori anche dall'estero. Martínez-Molina *et al.* [7] e Loli *et al.* [14] concordano entrambi sul fatto che l'Italia è il paese che ha generato la maggior parte delle ricerche nell'ambito dell'efficienza energetica di edifici storici, seguita da Regno Unito e Spagna, portando il continente europeo in testa. A seguire Asia, America del Nord, America del Sud, Australia, Africa. L'Italia è uno dei paesi con il più alto livello di edifici tutelati al mondo ed il turismo legato a tale patrimonio è stato e continua ad essere un settore economico costantemente in crescita. Ciò può spiegare la necessità economica di salvaguardare gli edifici che fanno prosperare questo settore.

Per quanto riguarda l'età degli edifici presi in esame, i più analizzati sono quelli tra il XIX e il XX secolo perché sono più accessibili, le misure di efficientamento più facilmente implementabili e perché hanno meno vincoli dal punto di vista della tutela anche se, in definitiva, quelli più esaminati in assoluto appartengono al secolo scorso, poiché studiare gli edifici di questo periodo porta benefici immediati, dal momento che questi spesso sono ancora in uso, quindi le soluzioni di efficienza e *comfort* termico sono facilmente implementabili e l'edificio può essere velocemente adattato

ai bisogni attuali [7].

Sempre Martínez-Molina *et al.* [7] e Loli *et al.* [14] sostengono che, per ciò che concerne le categorie di edifici presi in esame, la maggior parte sono a destinazione residenziale; fra tutti, lo studio di Cantin *et al.* [15] in cui è stata condotta un'investigazione su undici edifici residenziali storici in Francia, per dimostrare quanto la *performance* energetica di questi edifici sia migliore di quanto si pensi, lo studio di Li *et al.* [16] il quale conferma gli esiti della ricerca precedente ma su edifici situati in Cina ed infine Morelli *et al.* [17] che implementa tre diverse strategie di *retrofit* energetico in edifici residenziali in Danimarca per conseguire il 68% di riduzione dei consumi.

A seguire troviamo edifici religiosi, come nel caso di Maahsen-Milan *et al.* [18] in cui è stato studiato il sistema HVAC di due edifici religiosi riqualificati a Torino e la ricerca di Cataldo *et al.* [19] che ha previsto l'analisi della qualità dell'aria di un edificio religioso da riqualificare. In seguito vi sono edifici scolastici ed altri edifici istituzionali (come musei, biblioteche e teatri). Lo studio di De Santoli *et al.* [20] che ha proposto diverse strategie per la riduzione dei consumi in alcune scuole di Roma e la ricerca di Ascione *et al.* [21] che ha impiegato l'ausilio di *software* per la verifica della *performance* energetica di un palazzo storico vincolato a Benevento per proporre strategie di riqualificazione. Infine vi sono ricerche condotte per altre categorie di edifici che non sono quelli precedentemente enunciati; si tratta prevalentemente di edifici vernacolari.

Per quanto riguarda il campo di pubblicazione, lo scopo principale è di tentare di ridurre il consumo d'energia e migliorare la qualità ambientale degli edifici tutelandone i valori storici [7]. In linea generale, gli studi utilizzano degli approcci metodologici che interessano il processo d'intervento sul costruito. I più numerosi descrivono interventi di basso impatto (conservazione) seguiti da interventi di alto impatto (restauro) ed infine interventi di medio impatto (riqualificazione) [14]. In generale, le metodologie applicate in queste ricerche consistono nella valutazione della *performance* energetica dell'edificio suggerendo interventi per migliorare tale *performance* ed il loro impatto ambientale.

Oggi, le tecniche di analisi più utilizzate per questi studi sono:

- Le simulazioni energetiche;
- Le indagini termografiche;
- Le campagne di monitoraggio (dell'edificio oppure delle condizioni dell'ambiente interno);
- Le indagini sul comfort termico;
- Le simulazioni CFD (*Computational Fluid Dynamics simulation*).

Queste tecniche, in base alla tipologia di edificio, l'età e come si

vorrebbe agire intervenendo su di esso, vengono usate individualmente oppure combinate tra loro.

3.2 SITUAZIONE DEL PARCO IMMOBILIARE ITALIANO: EDIFICI STORICI ED EDIFICI VINCOLATI.



Figura 2. Schematizzazione della situazione del parco immobiliare italiano.



Figura 3. Logo del Ministero per i beni e le attività culturali.



Figura 4. Campagna nazionale "Patrimonio culturale in classe A".

Come precedentemente accennato, il tessuto costruito italiano è indubbiamente tra i più datati e ricchi di stratificazioni.

Come descritto da Filippi [22], più del 50% degli edifici italiani sono antecedenti la Legge n° 373/76, ovvero le "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici". Tale legge fu la prima in ambito nazionale ad imporre ai costruttori l'introduzione di un isolamento termico nell'involucro edilizio. Da questa informazione è comprensibile il motivo per cui il nostro patrimonio edilizio è così altamente energivoro. Inoltre, il 30% del tessuto edilizio nazionale è stato costruito prima del 1945 (ovvero prima della ricostruzione e industrializzazione dell'Europa). Questi edifici sono generalmente considerati "storici", e di questi, solo l'1,8% è considerato patrimonio culturale, cioè sottoposto a vincolo di tutela in base alle procedure espresse dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (Figura 2). Essi appartengono a diverse epoche storiche, si trovano maggiormente nei centri urbani e spesso vengono impiegati nel settore terziario e per ospitare funzioni pubbliche (musei, biblioteche, archivi, ecc.). Gli edifici tutelati, seppur numericamente poco incidenti, non sono tuttavia trascurabili dal punto di vista dei consumi energetici. Ricoprendo ruoli rilevanti per l'immagine delle città italiane, essi finiscono per incidere gravosamente sui bilanci dell'intera pubblica amministrazione, la quale gestisce oltre tremila dei circa cinquemila fra musei, palazzi e monumenti italiani con una spesa annua che si aggira sui 250 milioni di euro [23] (Figura 5). Quindi «sono proprio i costi energetici degli edifici di pregio a pesare sui bilanci della Pubblica Amministrazione in misura rilevante e crescente, a livello di costo unitario del vettore energetico ma anche per il decadimento della performance dell'edificio nel tempo, a scapito della conservazione, valorizzazione e fruizione degli stessi» [24]. Tuttavia, è proprio agli enti pubblici di ciascuna nazione che l'Unione Europea con l'EPBD del 2010 aveva conferito un ruolo di esemplarità incoraggiando l'efficientamento energetico degli edifici pubblici. Tale esemplarità fu riportata in primo piano quando, a maggio 2017, venne presentata la campagna nazionale "Patrimonio Culturale in classe A" da parte del MiBACT (Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo) e di ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibi-



Figura 5. Schematizzazione dei costi incidenti sulle casse della pubblica amministrazione.

le) in cui presenziarono l'allora ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo Franceschini, il viceministro all'Economia Morando ed il presidente di ENEA Testa, oltre ad altri autorevoli esponenti della Pubblica Amministrazione, di Enti territoriali e del mondo accademico.

La campagna rientra fra le iniziative di attuazione del protocollo d'intesa siglato nel 2016 da MiBACT ed ENEA ed è parte integrante delle campagne nazionali "Italia in classe A" nell'ambito del Piano Triennale di informazione e formazione sull'efficienza energetica previsto dal d.lgs. 102/2014, nonché come contributo italiano all'iniziativa europea "2018 Anno europeo del Patrimonio Culturale". Grazie a questa iniziativa, l'ENEA ha avuto il compito di mettere a disposizione laboratori, infrastrutture e personale altamente specializzato per effettuare *check-up* energetici e realizzare progetti con il fine di integrare nuove tecnologie ed aumentare l'efficienza energetica, oltre che individuare le opportunità di finanziamento e incentivazione per la realizzazione. «Investire sul patrimonio culturale significa anche intervenire sui costi di gestione riducendo i consumi. [...] Il dovere dell'amministrazione è dare il buon esempio anche nel risparmio energetico e in questo senso i musei, dove in alcuni casi le spese energetiche sono il 70% del bilancio, sono un ottimo banco di prova» [23]. Quanto affermato da Franceschini durante l'evento fornisce un dato abbastanza chiaro e assolutamente non trascurabile: è fondamentale intervenire per ridurre dei costi così elevati, inoltre, la riqualificazione energetica potrebbe contribuire al rilancio del settore dei beni culturali agendo in termini di valorizzazione ed operando una profonda trasformazione istituzionale, tecnologica e organizzativa del patrimonio immobiliare pubblico.

3.3 LIMITI E CRITICITÀ NELLE PRATICHE DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO IN EDIFICI STORICI O TUTELATI RICONTRATI IN LETTERATURA.

I problemi principali che insorgono, prima ancora di intraprendere gli interventi di *retrofit* energetico su edifici storici, sono di carattere normativo-legislativo.

Ogni paese possiede il proprio sistema di conservazione del patrimonio culturale e di regolamentazione dell'efficienza energetica. Mentre per quanto riguarda gli interventi di *retrofit* energetico si hanno norme come le Direttive EPBD che obbligano ciascun paese membro a recepirle e tradurle in legislazione nazionale, per quanto riguarda la tutela del patrimonio non c'è uno *standard* tra i

paesi europei per valutare la rilevanza culturale, motivo per il quale ogni paese ha il suo sistema di tutela [25]. Oltre a ciò, in letteratura emerge che sempre in ambito normativo, non risulta sufficientemente approfondito il nodo del rapporto tra conservazione e sostenibilità, accusando una mancanza di penetrazione di queste due pratiche. Di fatto, la disciplina del restauro ha già da tempo instaurato un dialogo con le pratiche del consolidamento strutturale ed ha ampiamente accolto la sfida del superamento delle barriere architettoniche, tuttavia continua a mancare un dialogo stretto con le discipline che riguardano l'efficientamento energetico, cosa che peraltro è stata sottolineata all'interno delle "Linee di Indirizzo" ministeriali del 2013 [13].

Un altro problema di carattere legislativo deriva dalla natura delle normative stesse. Le politiche energetiche europee infatti, non solo privilegiano quasi esclusivamente gli edifici di nuova costruzione ma in aggiunta non pongono sostanziali differenze in termini di prestazioni richieste tra edifici nuovi ed edilizia esistente [7]; [24]. Tuttavia, come sostiene Pracchi [26], il miglioramento del comportamento energetico degli edifici storici dovrebbe essere raggiunto nel rispetto delle pratiche di conservazione, non richiedendo ad un edificio antico di raggiungere gli stessi livelli di quelli nuovi ma dimostrando un miglioramento complessivo nella capacità energetica.

Nella medesima ricerca [26] viene affermato che con le direttive europee si tende a migliorare la *performance* termica dell'involucro edilizio con requisiti di trasmittanza termica molto rigidi per le singole parti che compongono l'edificio (pareti, finestre, tetto) senza la possibilità di valutare il miglioramento "nel complesso". Il risultato di ciò è la barbara sostituzione di parti vecchie cambiate con quelle di nuova realizzazione, indubbiamente più performanti ma non sempre compatibili con la materia storica della fabbrica cui vengono poste [26]. Quando operare in questo modo non è possibile (a causa di esigenze conservative proprie dell'architettura di pregio e monumentale), in Italia si ricorre allo strumento della deroga [24]. A sostegno di quanto appena descritto si aggiunge Pianezze [27], che spiega il meccanismo per cui in Italia sia consuetudine aggirare le difficoltà normative, economiche e tecnologiche-impiantistiche da un lato non affrontando le emergenze legate alla tutela e conservazione, dall'altro non soddisfacendo i requisiti prestazionali dal punto di vista energetico. Il risultato è che per questi edifici talvolta non viene presa nessuna decisione risolutiva. Quando per gli edifici di elevato pregio artistico viene richiesto di raggiungere la stessa performance di altri edifici definita dagli *standard*, risulta ovvio rimanere bloccati; l'apposizione del vincolo sul bene tutelato viene percepita in modo negativo, come costrizione, ed il conseguente ricorso alla deroga fa cadere il bene vinco-

lato in uno stato di “cristallizzazione” per cui è difficile instaurare un dialogo volto alla strada per l’adeguamento. La mancanza di una visione maggiormente flessibile porta all’accettazione passiva del vincolo e della deroga, quando quest’ultima dovrebbe «segnalare innanzi tutto una necessità procedurale differente da quella standard» [27]. Infatti dovrebbe essere vista come un’opportunità per un approccio maggiormente consapevole più che un modo per evitare i problemi. Ciò che viene auspicato, in definitiva, è il superamento della semplice accettazione del vincolo e fare di esso una risorsa che sproni alla creatività e alla costante ricerca e sperimentazione di soluzioni alternative valide, pensate caso per caso.

Spesso viene preso come assunto generale il fatto che gli edifici antichi consumino più energia rispetto quelli moderni, ponendo la questione su quale sia il giusto equilibrio tra le misure di efficientamento energetico e i valori culturali dell’edificio ad un punto critico [28].

Questa “svalutazione” delle proprietà energetiche degli edifici storici è stata smentita dallo studio di Pracchi [26], in cui sono stati comparati gli standard nazionali con i valori di trasmittanza termica calcolati e misurati *in situ* in 22 casi studio. I risultati ottenuti hanno mostrato che i valori di trasmittanza misurati nei muri antichi sono migliori sia rispetto gli *standard*, sia rispetto quelli calcolati; se il valore di trasmittanza è sempre più basso rispetto a quello degli standard, ciò significa che gli edifici storici hanno performance d’involucro nettamente superiori rispetto quanto si sia soliti pensare. Nonostante questo risultato, è opportuno ricordare che la *performance* d’involucro è solo una parte della *performance* complessiva di un edificio; se un edificio storico risulta possedere una scarsa *performance*, le cause potrebbero essere ricercate sotto altri aspetti, per esempio a livello gestionale e degli impianti [29]; [30].

Altre ricerche condotte a partire dai primi anni 2000 per i successivi tredici anni si sono concentrate su analisi comparative della *performance* energetica tra edifici residenziali storici e moderni. Dai risultati è emerso che alcuni edifici storici performano meglio di quelli nuovi, in quanto le abitazioni più antiche possiedono proprietà bioclimatiche più complesse di quelle delle abitazioni più recenti con bisogni energetici simili [7]. Spesso infatti si tende a dimenticare che in particolar modo gli edifici molto antichi, sono intrinsecamente sostenibili, in quanto progettati in epoche storiche in cui le tecnologie impiantistiche non solo non erano all’avanguardia ma verosimilmente, non esistevano ancora. Di fatto, gli edifici risalenti a prima del XIX secolo non erano dotati di impianti HVAC e quelli costruiti a partire dal XX secolo possiedono impianti ormai obsoleti e non sicuri [22]. Gli impianti HVAC andrebbero introdotti solo se assolutamente necessario [22]; que-

sta tesi è supportata dalla ricerca condotta da Fabbri *et al.* [31] nel quale è stato studiato un edificio antico sprovvisto di sistema HVAC.

Alla luce di quanto esposto finora, si può affermare che i principali problemi legati alle pratiche di efficientamento energetico in edifici storici o tutelati siano prevalentemente (Figura 6):

- Di carattere legislativo;
- Relativi alla sostenibilità degli interventi.

Per quanto riguarda le barriere normative, un buon approccio teso al loro superamento è quello di trattare ogni caso particolare in modo più flessibile, liberandosi delle ristrettezze imposte dalle norme vigenti e cercando di far compenetrare quanto più possibile le discipline in materia di efficientamento energetico e di tutela dei beni culturali, in modo tale da soddisfare entrambe.

Anche per ciò che concerne la sostenibilità degli interventi sarebbe auspicabile operare in modo più olistico e multi-disciplinare. Ciò significa non precludere nessuna strada, nemmeno quella del minimo intervento. E' stato riscontrato che la mancanza di una visione più ampia e sensibile spesso porta a interventi troppo invasivi, non compatibili oppure non necessari.

Per evitare il compiersi di tali interventi, spesso anche irreversibili, sarebbe opportuno considerare l'eventualità di adottare metodi meno intrusivi, per esempio di carattere gestionale, i quali prevedono il diretto coinvolgimento degli utenti.



Figura 6. Schematizzazione delle principali criticità riscontrate in letteratura nelle pratiche di efficientamento energetico di edifici storici.

IL RUOLO DELL'OCCUPANTE E LE SIMULAZIONI ENERGETICHE

A conclusione di questa prima parte introduttiva si affronta il tema dell'occupante e del fondamentale ruolo che esso riveste in combinazione con le strategie di *retrofit* energetico negli edifici storici. Attraverso un'analisi bibliografica condotta sulla base di pubblicazioni scientifiche riguardanti questo tema, viene spiegato il modo in cui l'*occupant behaviour* influenza i consumi reali di un edificio e dunque quanto sia importante tenerne conto. Viene quindi spiegato come sia possibile raggiungere una predizione più veritiera della *performance* grazie a diversi metodi (come modelli di comportamento e l'inserimento di dati empirici) all'interno di *software* di simulazione energetica.

In ultima analisi, viene affrontato il tema delle simulazioni energetiche di edifici storici, spesso ritenute difficoltose data anche la scarsità di letteratura a riguardo.

4.1 LA GESTIONE DEL RUOLO DELL'OCCUPANTE COME STRATEGIA DI RETROFIT NEGLI EDIFICI STORICI.

Come accennato al termine del capitolo precedente, per ovviare al verificarsi di eventi spiacevoli legati alla messa in opera di interventi troppo aggressivi, bisognerebbe partire dalla manutenzione costante e programmata per passare all'uso di metodi meno intrusivi, per esempio di carattere gestionale. Tali aspetti di natura gestionale riguardano propriamente il comportamento degli utenti degli edifici, intesi sia come coloro che gestiscono le infrastrutture tecnologiche che gli effettivi utilizzatori dell'edificio, che tramite le proprie azioni interagiscono con il sistema edificio-impianto [29]. Spesso con la parola *users* le ricerche in questo campo fanno riferimento in generale a tutti gli individui che in qualche modo interagiscono (per ragioni diverse) con l'edificio. In realtà occorre distinguere due tipologie di utenze:

- Coloro che vivono e/o utilizzano l'edificio per compiere svariate attività (vivere, lavorare, ecc.);
- Coloro che gestiscono l'edificio (compiere manutenzione, monitorare i sistemi HVAC, ecc.).

In alcuni casi queste due figure possono coincidere (destinazione d'uso residenziale), in altri no (per esempio nel terziario) ed è necessario analizzarli separatamente [29].

Soprattutto negli ultimi anni il tema legato agli occupanti è diven-

tato centrale nelle ricerche scientifiche.

La pubblicazione denominata “Annex 53” [30] condotta dalla IEA (International Energy Agency) ha analizzato il reale utilizzo di energia negli edifici e ciò che lo influenza, identificando sei fattori principali:

1. Il clima;
2. L’involucro dell’edificio;
3. I sistemi relativi all’utilizzo di energia nell’edificio;
4. La gestione e manutenzione dell’edificio;
5. Le attività ed il comportamento degli occupanti;
6. La qualità dell’ambiente interno (IEQ).

La ricerca ha messo in evidenza due considerazioni fondamentali, su cui si basano la maggioranza degli studi pubblicati riguardo questo tema:

- In primo luogo il fatto che negli anni passati gli studi scientifici si erano focalizzati sui primi tre fattori, sottovalutando gli altri tre più legati all’interazione che gli esseri umani hanno con gli edifici, ignorando l’influenza significativa che questi possiedono;
- In secondo luogo, tenendo conto del “fattore umano” nel calcolo della *performance* energetica dell’edificio, si arriva al consumo reale di energia dell’edificio.

Dagli studi effettuati nell’ambito dell’interazione utente-edificio è emerso che ponendo l’attenzione sulla gestione del ruolo dell’occupante non solo è possibile raggiungere notevoli risparmi con la minima invasività, ma anche evitare effetti indesiderati che inficerebbero l’efficacia degli interventi effettuati sull’involucro o sull’impianto. Anche la campagna nazionale “Patrimonio culturale in classe A” si è spinta in questa direzione affermando che: «secondo le stime ENEA, è possibile ridurre del 40% i consumi di energia con azioni di risparmio, misure ed interventi di efficienza, partendo speditamente da un cambio di comportamento (per gestori e utenti) che, sommato agli interventi sull’involucro di pregio (laddove possibile e consentito) e sui sistemi impiantistici, permetterebbero un risparmio di circa 73 milioni di euro» [24].

Sebbene sia stata fatta molta strada nelle ricerche sull’efficienza energetica in edifici storici, ciò che tende a prevalere a livello di *retrofit* sono gli interventi sull’involucro o sugli impianti, rispetto a prospettive meno invasive di carattere gestionale tutt’ora poco considerate [32], [33]. Tali strategie di carattere gestionale pongono in evidenza il ruolo del comportamento degli utenti e delle loro interazioni con l’edificio. Le ragioni per cui il ruolo dell’occupante è fondamentale e per cui andrebbe preso in considerazione durante il processo di riqualificazione sono numerose.

In primo luogo sarebbe auspicabile far cessare la dicotomia tra fat-

tori “comportamentali” e “tecnologici” al fine di ridurre i consumi energetici. Ciò in virtù del fatto che tali aspetti “comportamentali” sono del tutto paragonabili, in termini di influenza, a quelli “tecnologici”. Anche dal punto di vista di gestione dell’edificio (spesso anch’esso guidato da *target* imposti da quadri legislativi esterni), occorrerebbe valutare ogni caso specifico riferito a edifici ed utenti reali [34].

Poiché ogni utente ha le proprie peculiarità, è necessario conoscere i suoi bisogni per determinare le modalità di interazione che si instaurano tra i fruitori, l’edificio e gli eventuali componenti tecnologici presenti all’interno.

Agendo sul comportamento si potrebbe raggiungere un duplice vantaggio:

- Evitare soluzioni d’intervento più impattanti;
- Ridurre la domanda di energia [32].

La riduzione della domanda d’energia risulta quindi il primo passo da affrontare quando si vuole intraprendere un processo di efficientamento energetico. Ciò è possibile nell’ottica di un utente maggiormente consapevole delle sue azioni; educando e correggendo le sue eventuali cattive abitudini, infondendogli la volontà di compiere azioni tese alla sostenibilità [27].

Un altro aspetto da osservare è che la letteratura analizzata dimostra che non ci sono garanzie di raggiungere i risparmi desiderati se il comportamento dell’occupante non è preso in considerazione in fase di progettazione [32].

La misura in cui gli interventi di efficientamento sull’involucro o sugli impianti portano effettivamente a dei risparmi varia in base alla risposta comportamentale che gli utenti hanno in base al cambiamento percepito del benessere ambientale [35]; [27].

La questione riguardante la salute, il *comfort* ed il comportamento successivi agli interventi di efficientamento energetico in edifici storici non è ancora sufficientemente approfondita in letteratura, tuttavia cruciale [36]. Le risposte a livello comportamentale sono conosciute come effetto *rebound* [35]; un tipico effetto *rebound* si verifica per la mancanza di controllo dell’occupante sul riscaldamento che lo porta ad aprire le finestre per riportare il controllo sull’ambiente interno [32]. Quando si operano interventi di efficientamento energetico, il *comfort* termico ed il benessere ambientale percepito dagli utenti è la prima cosa ad essere notata; tuttavia, la reazione dei fruitori nei confronti di questi fattori ha un alto grado di imprevedibilità. Il comportamento di ciascun utente può avere diverse ricadute, sia in positivo, sia in negativo; se ad esempio non è permessa una buona ventilazione da parte degli utenti, questo può causare una scarsa qualità dell’aria e problemi di salute, che i fruitori stessi percepiranno come peggioramento,

quindi in modo negativo. Questa può essere considerata una delle tante conseguenze indesiderate che si possono verificare [36]. Il verificarsi di questi eventi non solo porta al peggioramento della qualità dell'intervento di efficientamento, ma potrebbe addirittura annullare gli effetti desiderati in fase di progettazione.

Le ricerche scientifiche degli ultimi anni si stanno muovendo per capire in che modo il comportamento dell'occupante ha un impatto sui risparmi energetici in seguito alla riqualificazione energetica. Lo studio di Ben *et al.* [35] si è avvalso dello strumento della simulazione energetica per analizzare il potenziale impatto del comportamento dell'occupante sui risparmi energetici nell'ambito di una riqualificazione domestica. Sono stati monitorati e raccolti più dati possibili per la modellazione energetica, sia sui dati fisici dell'edificio che sulla sua occupazione. Sono stati ipotizzati tre scenari di *retrofit* (minimo, medio e massimo) e tre modelli comportamentali (a basso/medio/alto consumo d'energia). I risultati hanno mostrato che:

- Il comportamento ad alto consumo d'energia associato al massimo *retrofit* risulta 2,5 volte più dispendioso rispetto al comportamento più conservativo associato a nessun *retrofit*,
- Alcuni possibili cambiamenti del comportamento portano al cosiddetto effetto *rebound* in seguito al *retrofit*, scompensando i risparmi energetici attesi delle migliorie fisiche.

Dunque cosa è possibile fare per evitare tali effetti indesiderati? Attivare un processo di coinvolgimento nei confronti degli utenti, attraverso la formazione e l'informazione sotto due aspetti principali [27] :

1. Educando l'utente spingendolo verso un atteggiamento adeguato in termini energetici [32], mostrandogli esempi concreti circa l'impatto del proprio comportamento (per esempio, tramite codici di comportamento e guide rivolte all'utente) [27]. La ricerca di Paone *et al.* [33] ha sottolineato che le campagne di efficientamento basate sul comportamento attento in termini energetici, si sono dimostrate essere quelle più economicamente convenienti e di successo tra le strategie di efficienza presenti sul mercato. Tra tutti, l'*eco-feedback* consiste nell'informare gli occupanti circa il loro consumo di energia, traducendo alcune unità di misura di difficile comprensione (kWh, emissioni di CO₂) in concetti più fruibili. Tale strumento si è rivelato efficace soprattutto sul breve periodo, con una riduzione dei consumi fino al 15%; per ottenere benefici anche sul lungo termine sarebbe opportuno passare dei messaggi di natura meno opzionale, come per esempio quelli imposti dalle normative. Non va dimenticato peraltro che il buono stato dell'edificio storico dipende dagli utenti che lo occupano giornalmente [32].

2. Coinvolgendo l'utente nelle pratiche di tutela dell'edificio storico e facendogli riconoscere i valori che sono iscritti nella fabbrica storica che lo accoglie. In questo senso, vi è stato un approfondimento da parte della ricerca di Adams *et al.* [34] in cui sono state osservate le attitudini e le pratiche che caratterizzano gli abitanti nelle loro interazioni con gli edifici storici. Gli edifici storici possono essere caricati di significati positivi o negativi dai loro occupanti e questo si traduce in diversi modi di vivere tali edifici e di utilizzarli. Questo aspetto ha conseguenze nel consumo di energia poiché porta a diversi modi di utilizzare il riscaldamento, l'illuminazione, la ventilazione eccetera. Dalla ricerca è emerso che gli occupanti apprezzano gli edifici storici perché incarnano la "tradizione" e per la loro continuità con il passato. Sono quindi considerati positivamente e associati ad una serie di emozioni e identità. Innalzando la consapevolezza verso il rispetto delle qualità storiche degli edifici tra gli utenti, si può al contempo promuovere un atteggiamento più efficace per migliorare il comportamento energetico. La ricerca vuole anche suggerire che spesso le inefficienze relative all'uso di energia negli edifici storici derivano meno dalle caratteristiche fisiche intrinseche e più da interventi che lasciano poco spazio all'adattamento degli utenti. Bisognerebbe permettere agli edifici di "imparare" da chi li abita per efficacemente adattarsi a loro.

4.2 IL CONTROLLO DEL COMPORAMENTO DELL'OCCUPANTE NELLE SIMULAZIONI ENERGETICHE

Come è già stato affermato, la performance energetica reale di un edificio (sia esso storico o no) è influenzata dal comportamento dei suoi occupanti [30], [37].

Il progresso tecnico, il cambiamento sociale e l'evolversi degli stili di vita influenzano profondamente il comportamento umano. Inoltre, l'impatto del comportamento nell'uso di energia dell'edificio è legato agli elementi che compongono l'edificio stesso come le finestre, gli oscuranti e gli elettrodomestici. Questi "oggetti" rientrano nella categoria di cose che possono essere controllate dagli occupanti; gli utenti, interagendo direttamente con questi "oggetti", finiscono per modificare il bilancio energetico dell'edificio e di conseguenza i consumi, contrariamente a quanto era stato previsto in fase di progettazione [38].

Il divario tra l'uso reale di energia e quello previsto in fase di simulazione dipende principalmente da tre fattori:

- La realizzazione finale dell'edificio;
- Gli impianti;
- L'utilizzo reale dei sistemi dell'edificio da parte degli occupanti.

Fare una stima esatta dell'uso effettivo che gli occupanti faranno dell'edificio e di tutti i suoi componenti è difficile, poiché le azioni umane sono altamente imprevedibili, aleatorie: non vi è la certezza che ci si comporti allo stesso modo di un'altra occasione, date le stesse circostanze [37].

Inoltre, l'individuo è mosso a compiere determinate azioni in base alla sua percezione di *comfort*: se esso ritiene di essere in uno stato di *discomfort*, tenderà ad agire per migliorare tale stato ("approccio adattivo") [37]. Le ricerche in questo campo d'indagine hanno individuato diversi fattori che influenzano il comportamento dell'occupante; tali fattori sono denominati *drivers* e sono le ragioni per cui l'utente è portato a reagire ad un determinato stimolo. Lo studio di Fabi *et al.* [39] ha identificato alcune tipologie di *drivers* per quanto riguarda l'apertura/chiusura delle finestre, altri per l'accensione/spegnimento delle luci [40].

Tali fattori spingono l'occupante ad agire ed a partire da questo momento si aprono una serie di scenari fatti di combinazioni e sequenze di possibili azioni (per esempio: la chiusura/apertura delle finestre, l'accensione/spegnimento delle luci artificiali, la regolazione della temperatura interna tramite l'uso del termostato, il cambio di indumenti, ecc.). Tali azioni sono tese a migliorare l'IEQ (*Indoor Environmental Quality*), ovvero a ripristinare lo stato di benessere percepito prima dello stimolo che ha spinto l'occupante ad intervenire. Le azioni, infine, produrranno degli effetti che influenzeranno in primo luogo l'IEQ e, conseguentemente, i consumi di energia. L'occupante gioca dunque un ruolo fondamentale nel determinare le condizioni interne dell'ambiente e le sue azioni dipendono anche dal grado di controllo che esso ha nel compiere le scelte [39].

Inoltre, viene sottolineata l'importanza di dare agli occupanti la possibilità di controllo diretto sulle condizioni ambientali interne in modo tale da poter raggiungere la loro massima soddisfazione [40]. In virtù di questa affermazione è dunque ancora più necessario tenere conto dell'interazione degli occupanti con gli edifici in fase di progettazione.

Dal momento che il comportamento umano è così imprevedibile e può influenzare pesantemente il consumo reale d'energia, la domanda che sorge spontanea è: come è possibile implementare il comportamento dell'occupante all'interno dei *software* di simulazione energetica in modo tale da renderli più affidabili e quindi avere una predizione più accurata?

La simulazione energetica di un edificio è la rappresentazione ma-

tematica del suo comportamento fisico considerandone tutti gli aspetti termici, illuminotecnici ed acustici [37]. Tuttavia, i *software* di simulazione energetica degli edifici danno maggiore importanza agli effetti di clima, involucro edilizio ed impianti rispetto alle azioni degli occupanti. Le simulazioni non sono dunque in grado di replicare con precisione una costruzione reale in quanto la differenza tra i dati reali e i risultati delle simulazioni è dovuta all'influenza del comportamento umano in situazioni complesse [38], [37].

Al fine di poter tenere conto del comportamento dell'occupante in una simulazione energetica, è necessario tradurre tale comportamento in termini quantificabili (numericamente descritti) e misurabili (fisicamente misurabili).

Un esempio di descrizione quantitativa di comportamento umano in base al tempo potrebbe essere: un impiegato accende la TV dopo il lavoro alle h. 19 e la spegne alle h.23 [38]. Tra le ricerche con questo obiettivo vi è lo studio di Peng *et al.* [38] che ha sottolineato la necessità di identificare stili di vita basati su investigazioni e misurazioni del comportamento umano in situazioni reali, dal momento che, potenzialmente, si potrebbe fare uno stile di vita basato addirittura su ogni singola famiglia [38]; più i modelli di comportamento dell'occupante sono accurati, affidabili e realistici, più le previsioni saranno affidabili [39].

Un aspetto di cui tenere conto è il fatto che i modelli per il comportamento umano e quelli per le simulazioni energetiche sono basati su due approcci diversi.

I modelli per il comportamento umano si basano su algoritmi statistici e probabilistici (ovvero predicono la probabilità di un'azione o evento, per esempio la probabilità di apertura o chiusura delle finestre basata su fattori ambientali interni ed esterni). Il più delle volte, nelle simulazioni energetiche le azioni tipicamente umane vengono modellate sulla base di regole o programmi predefiniti e fissati, ovvero comportamenti deterministici (prevedibili e ripetibili).

A tal proposito, lo studio che ha prodotto il documento "Annex 66" [41] si è occupato di fornire una metodologia per modellare quantitativamente il comportamento dell'occupante negli edifici, con il fine di ridurre il gap tra l'uso di energia reale e calcolato, implementando tali modelli all'interno dei *software* di simulazione. Lo studio ha classificato la modalità d'implementazione dei modelli di comportamento all'interno dei *software* di simulazione in base alla loro complessità, ovvero:

- I modelli deterministici;
- I modelli probabilistici.

L'approccio secondo modello deterministico è presente nella maggior parte dei *software* ed è quello più utilizzato dagli utenti perché più semplice. Esso prende la forma di *schedules* fisse che si ripetono nel tempo [42]. Questo è un grande limite di alcuni strumenti di simulazione energetica per modellare l'interazione dell'occupante con l'edificio.

Siccome un modello deterministico non è in grado di gestire le incertezze legate al comportamento umano, è stato proposto un metodo probabilistico. L'approccio metodologico di tipo probabilistico è basato sulla modellazione statistica del comportamento dell'utente: il comportamento dell'utente viene inserito come input probabilistico mentre gli output della simulazione vengono forniti come distribuzione di probabilità piuttosto che come singolo valore. Questo *range* di risultati rappresenta la varietà dei comportamenti [37].

Tuttavia i modelli probabilistici risultano essere più complessi rispetto agli altri, richiedendo una maggiore competenza e conoscenza, scoraggiandone l'impiego [41].

Inoltre per comprendere quanto sono accurate le predizioni del comportamento degli occupanti e quanto accurati e realistici sono i risultati delle simulazioni è necessario ricorrere alla validazione di tali modelli; il metodo più utilizzato è quello della validazione empirica, condotta comparando le variabili dell'ambiente interno simulate con i valori misurati direttamente nell'edificio [43].

In definitiva, entrambi gli approcci presentano dei limiti, pertanto per colmare il divario tra il reale comportamento dell'occupante e la semplicità della sua riproduzione all'interno dei *software* di simulazione ci si avvicina a diversi metodi per raccogliere informazioni circa gli occupanti e i profili di occupazione, come campagne di misurazione, monitoraggi e *surveys* [41]. Le *surveys* sono dei sistemi di auto-valutazione circa il comportamento personale di ciascun individuo che si sottopone all'indagine in un modo economicamente vantaggioso [41] e sono utili per comparare le abitudini espresse dagli occupanti stessi e gli effetti che hanno sulla prestazione reale dell'edificio [33].

Per rispondere alla domanda avanzata ad inizio paragrafo su come implementare il comportamento dell'occupante all'interno dei *software* senza inficiare la bontà dei risultati, occorrerebbe munirsi di un buon numero di dati empirici a supporto della modellazione energetica per rimettersi alla sua affidabilità, conducendo *surveys* e *interviews* mirate, a tutti gli utenti coinvolti. Il *feedback* degli occupanti è importante, così come è importante integrare delle indagini prima, durante e dopo il processo di riqualificazione per identificare diversi profili di occupanti e di conseguenza, diversi modelli comportamentali [32]. La mancanza di dati reali

sugli occupanti (visitatori, personale, ecc.) in fase di progettazione può portare all'inaffidabilità della modellazione energetica e conseguentemente a effetti indesiderati [36].

In conclusione si può affermare che la questione rimane aperta ed ulteriori investigazioni sono necessarie [41].

In primo luogo, è opportuno incoraggiare le persone ad atteggiamenti volti al risparmio energetico, puntando all'educazione come strategia di retrofit non invasiva ed economicamente non dispendiosa [44].

In secondo luogo, appurato che implementando modelli di comportamento dell'occupante negli strumenti di simulazione si riduce il gap tra i numeri generati dai *software* e quelli reali [45], è auspicabile che vengano sviluppati dei moduli aggiuntivi all'interno degli strumenti di simulazione energetica dedicati al comportamento dell'occupante, in modo da rendere l'implementazione dei modelli accessibile a molti utenti [44].

4.3 SIMULAZIONI ENERGETICHE DI EDIFICI STORICI.

Attualmente si può riscontrare una certa carenza di ricerche effettuate riguardo la simulazione energetica di edifici storici. Tuttavia, le ricerche scientifiche in questo campo condividono tutte un obiettivo comune, ovvero quello di testare l'affidabilità dei metodi di calcolo ad oggi disponibili.

La ricerca di Pracchi [26] si è concentrata sulla simulazione energetica di tre edifici italiani tutelati, utilizzando tre diversi *software* di simulazione energetica per testarne l'affidabilità. I risultati hanno mostrato che il *software* per la simulazione dinamica è quello con i risultati migliori, poiché gli altri tendono a sovrastimare la *performance*. Tuttavia è stato riscontrato che anche i *software* dinamici mostrano delle problematiche, legate al livello di precisione dei dati di input richiesti per la simulazione (specialmente sull'involucro edilizio e le infiltrazioni dell'aria). I *database standard* e le referenze in letteratura esistenti utilizzati per ricavare i dati di input per gli edifici storici sono inappropriati; per questo motivo sarebbe opportuno creare *database* appositi per gli edifici storici, basati su misurazioni *in situ* almeno dei parametri più importanti: trasmittanza termica, inerzia termica, conduttività dei materiali dell'involucro edilizio, il tasso di umidità, il tasso di ricambio dell'aria ecc. In particolare, la difficoltà maggiore riguarda il calcolo e le misurazioni delle perdite d'aria nell'involucro edilizio.

La ricerca condotta, in definitiva, vuole spingere allo sviluppo di

un *database* sistematico di informazioni accurate (includendo informazioni storiche e sull'energia) circa gli edifici storici che possono arricchire in modo accurato e significativo le simulazioni e gli interventi di efficientamento energetico.

Una ricerca simile è stata condotta da Marta Calzolari nella sua tesi di Dottorato [46].

Tale ricerca ha previsto l'analisi di cinque casi studio per i quali sono stati applicati quattro diversi metodi di calcolo per l'indice di prestazione energetica.

Ciò che emerge dalla ricerca è che, in generale, i risultati dei metodi semplificati sono troppo distanti dai risultati dei consumi reali, motivo per cui tali metodi rischiano di sovrastimare o sottostimare il reale comportamento energetico dell'edificio. La ricerca vuole dunque dimostrare che applicando alcuni "miglioramenti" in fase di calcolo, tenendo conto di tutto ciò che tipicamente caratterizza l'edilizia storica, si può raggiungere uno scostamento accettabile dai consumi reali. Tuttavia ciò non è sufficiente; per questo vengono avanzati diversi suggerimenti. Da un lato, visto l'ingente impiego di abachi che velocizzano la pratica quotidiana dei professionisti, si propone di creare abachi specifici per l'edilizia storica-monumentale, poiché quelli che oggi fanno parte della normativa vigente, sono specifici per edifici recenti o di nuova costruzione. Dall'altro, si propone anche un lavoro congiunto con gli sviluppatori dei *software* dedicati al calcolo per poter intervenire sul codice sorgente del *software* di simulazione, in modo tale da poter modellare anche le situazioni "anomale" (tipiche degli edifici storici) che poco dialogano con l'interfaccia dei *software* pensati appositamente per edifici non storici.

In ultimo, il metodo di calcolo in regime dinamico, nonostante mostri comunque alcuni problemi, è quello che più si avvicina ai consumi reali, in quanto permette di includere nell'analisi i fenomeni transitori, poiché tale metodo di calcolo opera a intervalli orari, contrariamente a quanto avviene con i modelli statici, che risultano quindi poco sensibili ai fenomeni più variabili.

La maggiore precisione del calcolo dell'indice di prestazione energetica di questo strumento risulta essere ancora più utile nell'ambito di un progetto di riqualificazione energetica di un edificio storico in quanto in molti casi è decisamente inferiore (anche del 50%) e permette un intervento più delicato, garantendo efficienza energetica e *comfort* ambientale senza rinunciare a un maggior rispetto per i valori testimoniali del fabbricato.

4.4 OBIETTIVO DELLA TESI

Come esito di questa prima parte si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il parco immobiliare in Italia risulta essere fortemente energivoro a causa dell'alta presenza di edifici storici; tra questi, gli edifici tutelati in Italia, seppur numericamente poco incidenti, non sono trascurabili dal punto di vista dei consumi energetici, finendo per incidere gravosamente sui bilanci della Pubblica Amministrazione. Gli organi legislativi tanto a livello nazionale quanto europeo, si sono mossi negli ultimi anni con normative ed altre iniziative con il fine di ridurre la domanda di energia e le emissioni di CO₂ da parte del settore edilizio. Per quanto riguarda gli edifici storici, il nodo tra pratiche di efficientamento e conservazione del patrimonio risulta ancora critico, tuttavia si è cominciato a porre l'attenzione non più esclusivamente sulle prestazioni d'involucro (che costituisce solo una parte della *performance* complessiva di un edificio) ma anche sulla gestione degli impianti e l'interazione che gli utenti hanno con questi sistemi, in modo tale da aumentare la prestazione energetica dell'edificio garantendone la tutela. In questo modo non solo è possibile raggiungere notevoli risparmi con la minima invasività, ma anche evitare effetti indesiderati che inficerebbero l'efficacia degli interventi effettuati sull'involucro o sull'impianto. Inoltre, gli strumenti legislativi nazionali e gli studi scientifici sugli interventi di *retrofit* energetico in edifici storici suggeriscono la diagnosi energetica come strumento per capire quale sia l'intervento di efficientamento ottimale da eseguire sull'edificio storico.
- Dalla letteratura analizzata è emerso che il comportamento umano influenza fortemente i consumi reali dell'edificio; ciò significa che in fase di progettazione è difficile compiere previsioni accurate circa quello che sarà l'uso reale di energia. Ad oggi, i modelli di simulazione energetica costituiscono il più valido strumento per conoscere e capire gli usi reali di energia negli edifici. Tuttavia, il calcolo della *performance* energetica dell'edificio con questi strumenti viene spesso effettuato inputando dati standardizzati e da normativa e senza tenere conto dei dati sull'occupazione, con risultati molto lontani da quella che è la *performance* reale in termini di utilizzo di energia. Inoltre, sebbene siano state sviluppate metodologie per l'implementazione nei *software* di simulazione di modelli di comportamento dell'occupante con approccio probabilistico, essi risultano ancora complessi e riservati ad utenti specializzati nel campo. Per trarre il massimo dai modelli di simula-

zione e poter analizzare i consumi reali di un edificio esistente, è necessario possedere dati reali circa l'utilizzo dell'edificio, in modo tale da effettuare la calibrazione del modello che si realizza comparando i valori reali con quelli generati dal modello, adattando alcuni parametri inputati. Con modelli di simulazione calibrati, i risparmi d'energia possono essere previsti con maggiore accuratezza ed affidabilità. La predizione tiene conto di tutti i fattori che mostrano avere influenza sulla *performance*, inclusi i fattori umani. Successivamente è possibile intraprendere diverse misure di efficientamento, sia per quanto riguarda l'involucro dell'edificio che a livello di impianti, inclusa la loro gestione.

Alla luce di quanto esposto finora, si enuncia l'obbiettivo di questo lavoro di tesi, che consiste nel realizzare una diagnosi energetica di un edificio storico vincolato tramite l'utilizzo di un *software* di simulazione energetica in regime dinamico. I dati inseriti nel modello saranno il più possibile vicini alla realtà, per poter successivamente procedere con la validazione del modello. Una volta ottenuto un modello affidabile, saranno individuati gli sprechi ed implementate strategie di gestione ottimale dell'edificio e degli impianti con il fine ultimo di ottenere una riduzione dei consumi con un metodo non invasivo ed economicamente non dispendioso.

PARTE II

SIMULAZIONE DINAMICA DEL CASO STUDIO: IL CONSERVATORIO STATALE GIUSEPPE VERDI DI TORINO

In questo capitolo verrà analizzato il Conservatorio di musica di Torino, ovvero il caso studio scelto per condurre la simulazione energetica dinamica. Questa fase del lavoro verte sull'acquisizione dei dati di input, per quanto riguarda i dati climatici, quelli geometrici, gli impianti ed infine i dati sull'utilizzo. In base ai parametri inseriti verranno condotte due simulazioni: la prima con dati da normativa per la verifica del dimensionamento degli impianti e la seconda, con dati di utilizzo reale per l'analisi dei consumi dell'edificio. I risultati di quest'ultima verranno confrontati con i consumi reali dati dalle bollette delle utenze di gas ed elettricità per accertare la predittività del modello costruito. In ultimo, viene esposta la procedura di calibrazione necessaria per rendere il modello affidabile e quindi poter continuare con la ricerca.

5.1 BREVE CRONISTORIA DEL CONSERVATORIO

L'edificio che ancora oggi ospita il Conservatorio statale Giuseppe Verdi di Torino nasce in seguito alla delibera decretata per lo stanziamento di fondi per dare una nuova sede al Liceo Musicale della Città di Torino. All'epoca il Liceo aveva subito una riforma accademica per cui erano stati ripensati i percorsi di formazione musicale e i locali che lo ospitavano risultavano ormai inadeguati. Il sito previsto per la nuova sede fu individuato in piazza Bodoni, nell'area un tempo occupata dal mercato coperto, sgombrato il quale, fu progettata una costruzione a tre piani fuori terra ed interamente destinata a sede definitiva del Liceo. Il progetto fu affidato all'architetto Giovanni Ricci e fu approvato il 3 dicembre 1924; la nuova sede in piazza Bodoni fu inaugurata ufficialmente la sera di martedì 8 maggio 1928.

Nel 1936 avvenne, infine, il passaggio da Liceo Musicale a Conservatorio dopo la convenzione stipulata tra il Municipio di Torino ed i Ministeri dell'Educazione nazionale e delle Finanze, in cui era prevista la cessione allo Stato dei locali in uso per 99 anni. Il nuovo "Regio Conservatorio di Musica Giuseppe Verdi di Torino" diventò a tutti gli effetti una scuola abilitata a rilasciare titoli ufficiali di

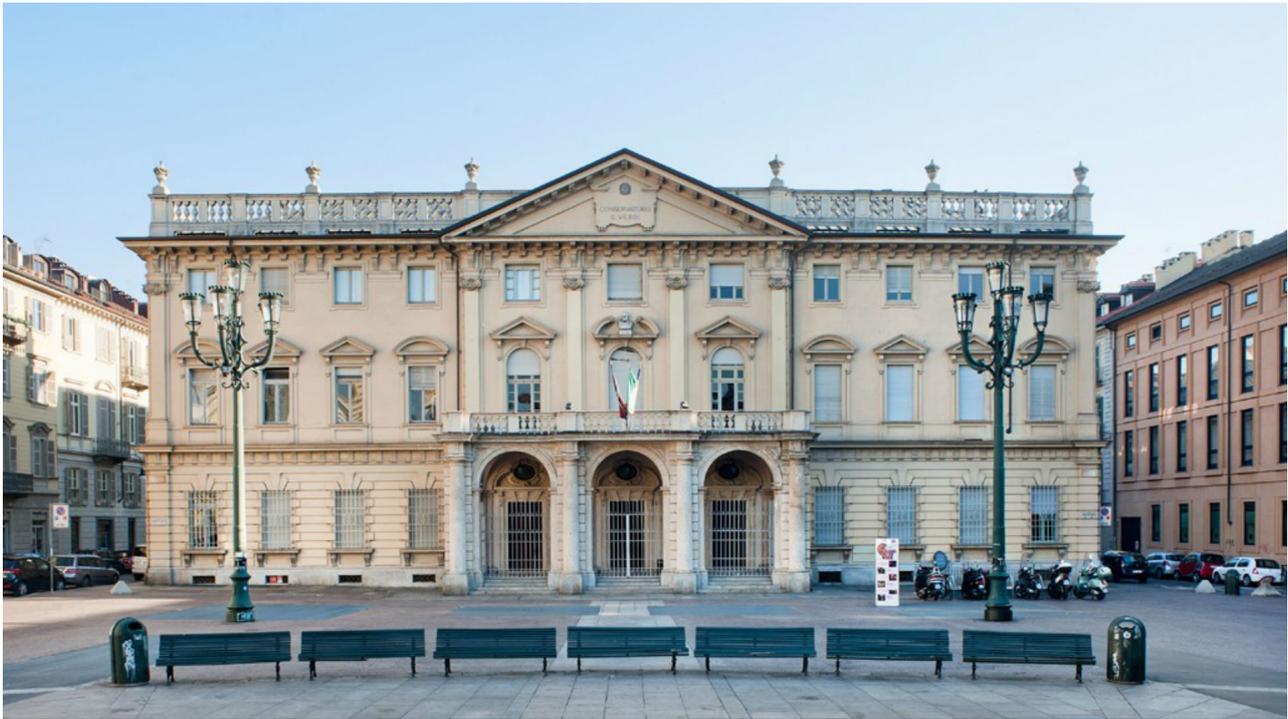


Figura 7. Foto del Conservatorio di musica da Piazza Bodoni. Fonte: museotorino.it

diploma nella professione musicale [47].

Nel 1984 si verificò un incendio all'interno del Salone dei Concerti, motivo per il quale il Salone fu chiuso per alcuni anni e oggetto di restauro nel 1986.

In tempi più recenti, nel 2015, il conservatorio è stato sottoposto ad un importante intervento di riqualificazione energetica e di recupero degli spazi. I lavori hanno interessato principalmente le aule didattiche; è stato previsto l'inserimento di un ascensore, l'aggiunta di un piano ammezzato in corrispondenza del piano terra, l'isolamento dall'interno delle pareti perimetrali, l'aggiunta di nuovi serramenti all'interno delle aule, la sostituzione degli impianti termici (con l'inserimento di un sistema di ventilazione meccanica e del sistema di raffrescamento prima assenti) ed il miglioramento delle performance acustiche [48].

Il caso studio scelto è particolarmente significativo ed interessante sotto diversi aspetti.

Innanzitutto si tratta di un edificio storico geometricamente complesso in alcune sue parti, realizzato con tecniche costruttive differenti rispetto quelle odierne. Questi elementi si sono rivelati essere problematici per quanto riguarda la compatibilità con il *software* di simulazione; la modellazione di alcune sue parti (come la volta del Salone dei concerti) ha previsto delle modifiche nella geometria, mentre per quanto riguarda la definizione dei parametri di involucro opaco è stato necessario creare delle apposite stratigrafie in quanto quelle di *default* del programma non erano adeguate a soddisfare i valori di trasmittanza.

In secondo luogo, il Conservatorio è un edificio che possiede alcune porzioni vincolate dalla Soprintendenza, ricche di apparati decorativi che hanno subito solo alcuni adeguamenti (perlopiù impiantistici), mentre altre parti sono cambiate in modo più radicale, sia nella distribuzione interna che nella *performance* energetica. Questi aspetti sono legati ai lavori di riqualificazione delle aule didattiche del 2015, i quali hanno avuto l'obiettivo di migliorare la *performance* energetica dell'edificio. I risultati ottenuti, tuttavia, non si sono rivelati essere quelli attesi [48]. Infatti, i consumi di gas metano hanno avuto risultati opposti nelle due annualità successive (prima aumento, poi diminuzione dei consumi) e quelli di energia elettrica un aumento costante in entrambi gli anni. Questi risultati anomali possono essere legati a problemi di gestione dei nuovi impianti (in particolare per quanto riguarda i consumi di energia elettrica) motivo per cui risulta interessante simulare il caso studio per capire dove risiedano gli sprechi.



Figura 8. Foto del Conservatorio di musica ripresa da Via Mazzini, scattata ad aprile del 2019.



Figura 9. Foto del Conservatorio ripresa dall'angolo Via Bodoni-Via San Francesco da Paola, scattata ad aprile 2019.

5.2 METODO DI COSTRUZIONE DEL MODELLO

Lo strumento utilizzato per simulare il Conservatorio di musica è un software di simulazione energetica in regime dinamico, *IDA-Indoor Climate and Energy* (IDA-ICE) nella versione 4.6.2. IDA-ICE è un *software* con un'interfaccia *user-friendly* sviluppato dalla *EQUA*, un'azienda svedese che si occupa anche dello sviluppo di strumenti per la simulazione della *performance* energetica in regime dinamico di edifici.

I modelli di simulazione dinamica sono largamente diffusi tra i progettisti ed i ricercatori in quanto permettono di:

- Stimare in modo verosimile i consumi d'energia ed accertare i bisogni energetici dell'edificio;
- Avere una previsione più accurata circa il *comfort* termico e l'illuminazione;
- Valutare il giusto dimensionamento del sistema HVAC [45].

Gli step per svolgere una simulazione energetica dinamica sono [45]:

1. Modellazione della geometria dell'edificio, ovvero specificare le corrette dimensioni dell'edificio e le zone termiche, ripro-

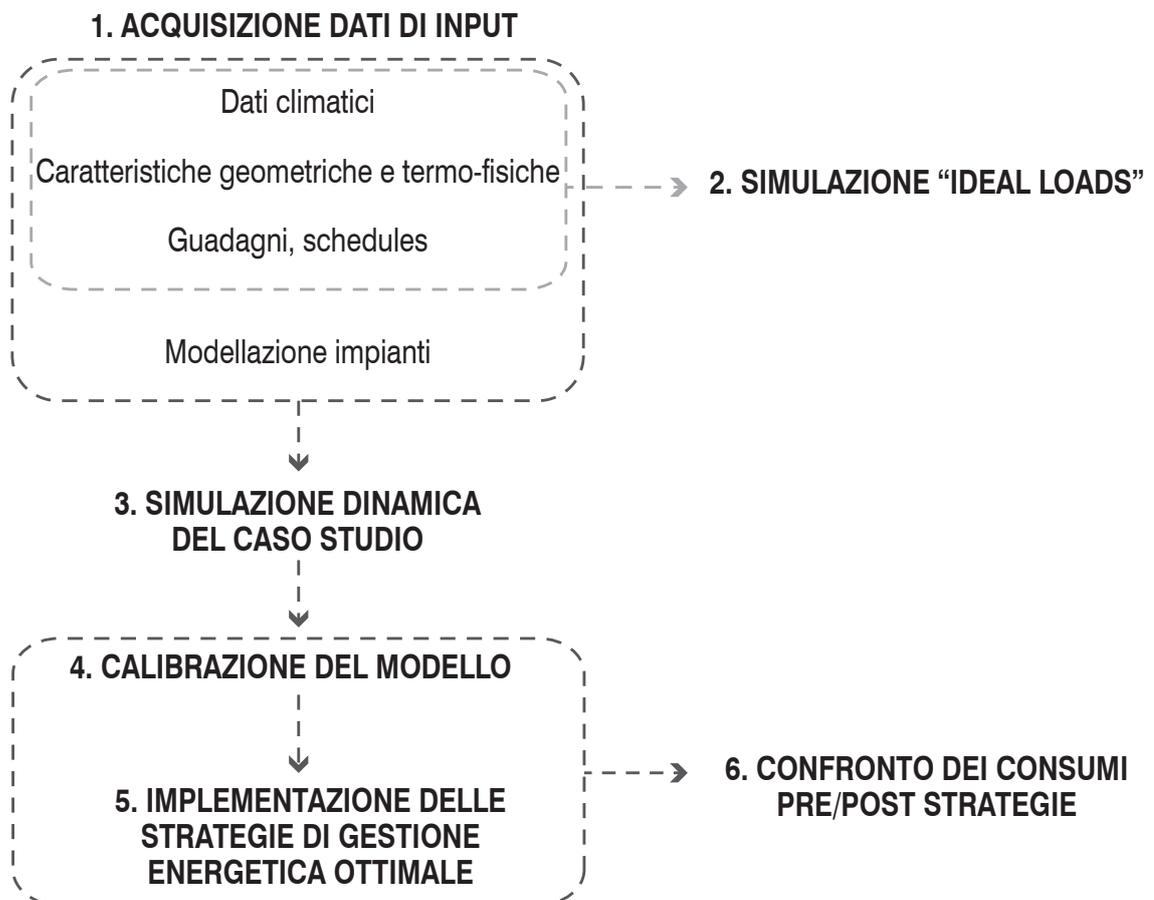


Figura 10. Schema del metodo seguito per la ricerca.

- ducendo le caratteristiche architettoniche dell'edificio il più realisticamente possibile;
2. Inserimento dei dati di input ed esecuzione della simulazione, ovvero la definizione di tutti i parametri termo-fisici dell'edificio, nonché i dati relativi l'utilizzo dell'edificio, i profili d'uso e di occupazione e le caratteristiche dei sistemi HVAC;
 3. Analisi dei risultati, che possono essere:
 - In termini di comportamento igrotermico, per l'analisi del *comfort* termico;
 - In termini di *performance* per predire i requisiti dell'edificio in termini di energia, ottimizzare i carichi termici e controllare componenti specifiche.

Inoltre, se necessario, è opportuno eseguire la calibrazione del modello, che consiste in un processo iterativo per ridurre la discrepanza tra gli output della simulazione ed i dati empirici disponibili a supporto della validazione. L'obiettivo principale di tale processo è dimostrare l'affidabilità del modello e la sua capacità di predire in modo realistico il comportamento termico ed energetico di un edificio con la possibilità di variare le condizioni al contorno ed altri parametri.

Gli approcci per la calibrazione di un modello dinamico sono due:

- Il metodo manuale;
- L'approccio automatizzato.

Quello più utilizzato è l'approccio manuale che consiste nella modificazione dei dati di input per ridurre il più possibile il "gap" tra gli output della simulazione ed i dati reali disponibili [45].

Tenuto conto del metodo sopra esposto, nella figura 10 viene riassunto il procedimento che verrà seguito per questo lavoro di tesi.

Nei paragrafi seguenti verrà analizzato l'edificio del Conservatorio dal punto di vista geometrico: verrà inquadrato rispetto il contesto, trattandone l'orientamento e l'ombreggiatura degli edifici circostanti. Verranno inoltre definite le zone termiche per la successiva analisi degli impianti; sarà analizzato l'involucro disperdente dell'edificio opaco e trasparente ed infine i ponti termici. Successivamente, verrà preso in esame ciò che è contenuto all'interno dell'edificio e la cui energia rappresenta un "guadagno" in termini di bilancio energetico, ovvero le luci, le apparecchiature elettriche e

DATI DI INPUT	SIMULAZIONE IN IDEAL LOAD	SIMULAZIONE DINAMICA
Dati climatici	Dati reali	Dati reali
Caratteristiche geometriche e termo-fisiche	Dati reali, da normativa e lett. tecnica	Dati reali, da normativa e lett. tecnica
Dati sull'utilizzo	Dati da normativa	Dati reali

Figura 11. Dati inputati in base alla tipologia di simulazione.

gli occupanti. Infine verranno definiti i profili temporali (*schedules*) di utilizzo di luci ed apparecchi, oppure di occupazione da parte degli utenti.

In questo modo si arriverà alla costruzione di un modello che permette di valutare il comportamento energetico dell'edificio non tenendo conto della parte impiantistica. A questo punto, verrà condotta una simulazione in "*ideal load*" per verificare i carichi termici e valutare se il sistema HVAC è dimensionato in modo adeguato, inserendo valori da normativa.

In seguito, con valori di utilizzo reali, verrà modellato il sistema HVAC per il calcolo dei consumi dell'edificio. La figura 12 mostra gli *step* seguiti per la costruzione del modello.

In ultimo, verranno implementate le strategie di gestione ottimale.

La definizione del comportamento energetico dell'edificio è stata condotta sulla base della vigente normativa nazionale, ovvero la UNI/TS 11300 parti 1-2-3 [49], [50], [51], che costituisce ad oggi lo strumento più completo a disposizione dei professionisti per il calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio nuovo o esistente. In essa sono indicati i metodi di calcolo da seguire e tutti gli altri riferimenti normativi per le disposizioni di calcolo contenute in altre pubblicazioni [46]. Inoltre, in caso di assenza di dati specifici richiesti dal metodo analitico, la Norma suggerisce di utilizzare delle semplificazioni in essa contenute. Tuttavia, tali semplificazioni possiedono dei limiti di applicabilità, soprattutto nel caso di architetture antiche; non sempre infatti tali semplificazioni risultano congeniali al caso studio, ed in questo caso si è fatto riferimento alla letteratura tecnica, come sempre suggerito dalla UNI/TS 11300.

Inoltre, laddove è stato possibile reperire le informazioni, si è ricorso ai dati di utilizzo specifici del caso studio, per l'ottenimento di un modello affidabile (Figura 11). In particolare la raccolta dei dati è stata effettuata attingendo da diverse fonti, tra cui:

- Dati estrapolati da *survey* (dalle campagne di interviste della Tesi di Dottorato in corso di svolgimento di G. Spigiantini) per quanto riguarda l'interazione degli utenti con alcuni sistemi dell'edificio (gestione degli oscuranti, l'apertura/chiusura delle finestre);
- Interviste al *building manager* ed al tecnico esterno alla struttura (che si occupa della manutenzione e gestione da remoto degli impianti installati) circa l'utilizzo dei sistemi impiantistici dell'edificio.

Figura 12. Schema che riassume il procedimento seguito per la costruzione del modello di simulazione.

DATI CLIMATICI	 Sito	 File climatico di Torino
		 Ombreggiamenti esterni
		 Orientamento
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E TERMO-FISICHE	 Involucro	 Chiusure verticali
		 Chiusure orizzontali
		 Attacco a terra
		 Copertura
		 Porte
		 Finestre
		 Sistema di oscuramento
		 Ponti termici
		 Infiltrazioni da involucro
DATI SULL'UTILIZZO	 Guadagni	 Occupanti
		 Illuminazione artificiale
		 Apparecchi elettrici
	 Schedules	 Schedule finestre
		 Schedule sistemi oscuranti
		 Schedule occupanti
		 Schedule illuminazione artificiale
		 Schedule apparecchi elettrici
	 Impianti	 Circuito acqua
		 Circuito aria
		 Terminali

5.3 INQUADRAMENTO: DATI SULLA LOCALITA' E IL CLIMA

Comune: Torino

Regione: Piemonte

Nazione: Italia

La facciata principale dell'edificio (p.zza Bodoni) è esposta a Nord-Ovest

Angolazione nord: 112°

Zona climatica: E

Gradi giorno (GG): 2617

Periodo di riscaldamento: 15 ottobre - 15 aprile per 14 ore (DPR 412-93)

Temperatura esterna di progetto: -8°C (Temperature esterne invernali di progetto UNI 5364)

Temperatura media annuale: 12,6°C

Coordinate di Torino in gradi decimali:

Latitudine: 45.0704900°

Longitudine: 7.6868200°

Altitudine sul livello del mare: 245 m

Le informazioni relative ai dati climatici e i gradi giorni provengono dalla consultazione delle norme UNI 10349:2016 parti 1-2-3 [52], [53], [54] e per la temperatura esterna di progetto si è fatto riferimento alla UNI 5364 [55].

Figura 13. Ortofoto che inquadra il Conservatorio rispetto al contesto urbano. Fonte: Geoportale del Comune di Torino.



L'edificio si affaccia su piazza Bodoni, lato in cui risulta privo di ombreggiamenti. Invece sui lati di via Mazzini, via San Francesco da Paola e via Bodoni, il conservatorio è fronteggiato da altri edifici, posti a una distanza di circa 11 m e di altezza tra i 15 e i 18 m.

5.4 IL RILIEVO DELLO STATO DI FATTO

Il rilievo dello stato di fatto del Conservatorio G. Verdi è stato effettuato sulla base del vigente piano di evacuazione dell'edificio e dei disegni di progetto dell'intervento di riqualificazione delle aree didattiche realizzato nel 2015 dallo studio di progettazione *Tecnicaer Engineering*.

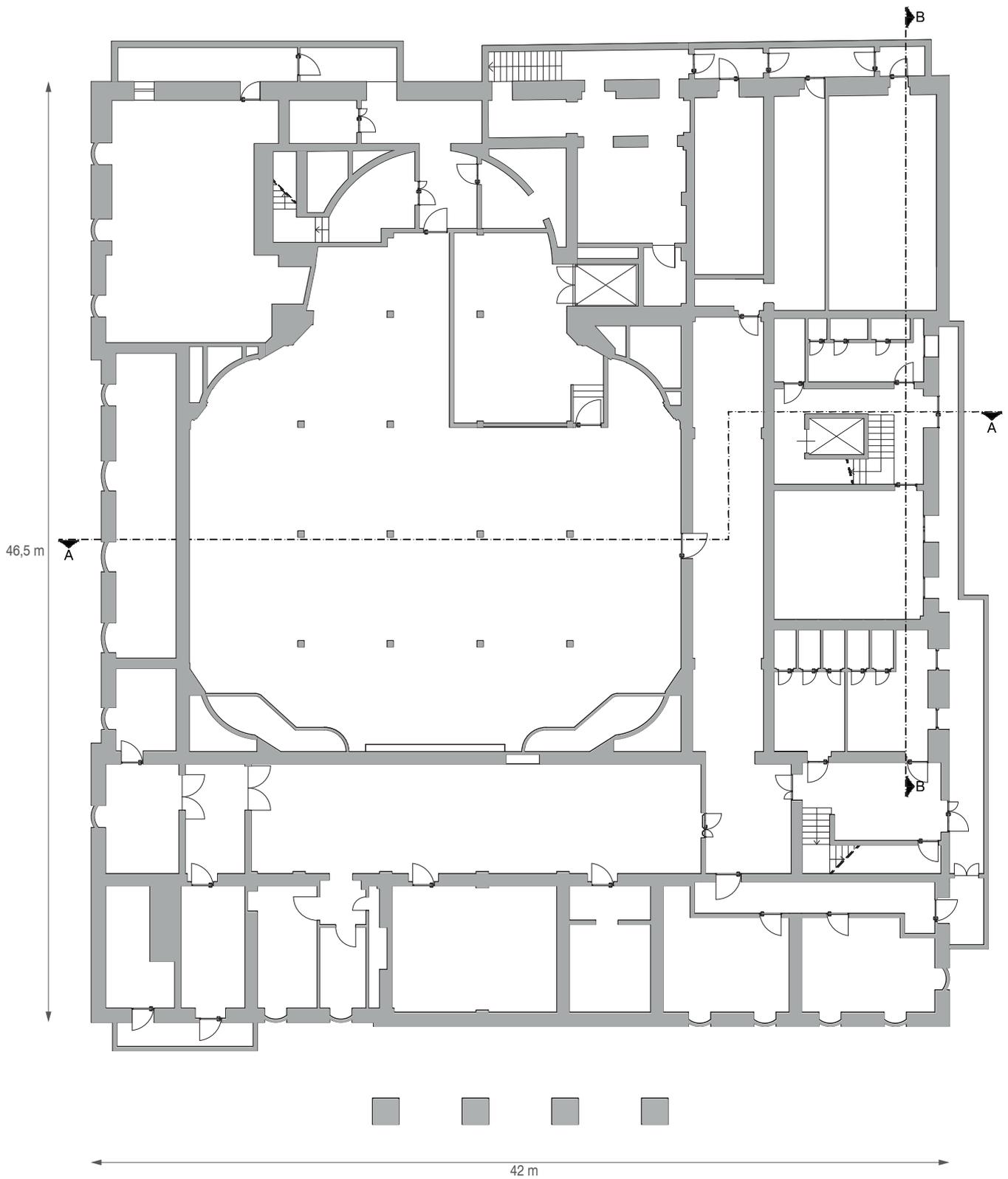
Grazie ai disegni del rilievo è stato possibile cominciare a prendere confidenza con la configurazione geometrica e morfologica dell'edificio. Il caso studio infatti presenta gli aspetti tipici dell'edilizia storica-monumentale i quali influenzano il comportamento energetico dell'edificio e, al contempo possono risultare difficili da definire e modellare all'interno di un *software* di simulazione che è pensato per edifici recenti. Tali aspetti riguardano prevalentemente la geometria e la morfologia della fabbrica e sono [46]:

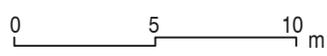
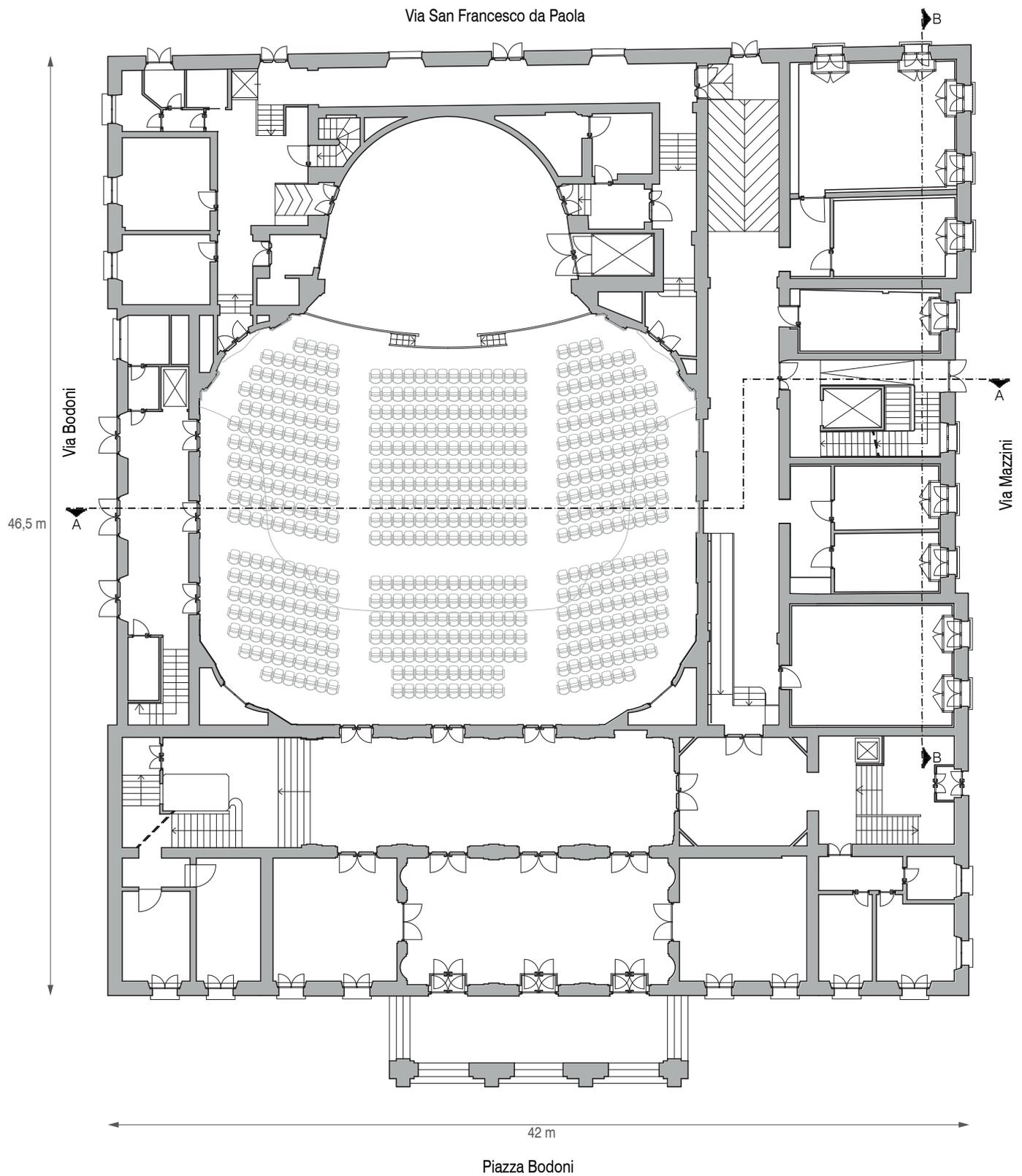
- Il portico;
- L'androne di ingresso;
- La presenza di volte;
- Il sottotetto;
- La tipologia di attacco a terra;
- Le altezze d'interpiano e variazioni di quota;
- Lo spessore dei muri e i materiali che li compongono;
- Le finestre.

Questi elementi sono interessanti per capire come descriverli nel modello e verificarne l'effettiva influenza energetica; tuttavia hanno dovuto subire delle semplificazioni inevitabili, principalmente dovute all'impossibilità del *software* di descrivere accuratamente questi aspetti che nelle nuove costruzioni sono pressoché scomparsi. Tali semplificazioni sono state effettuate:

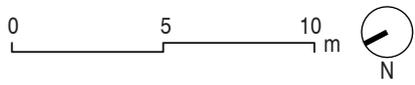
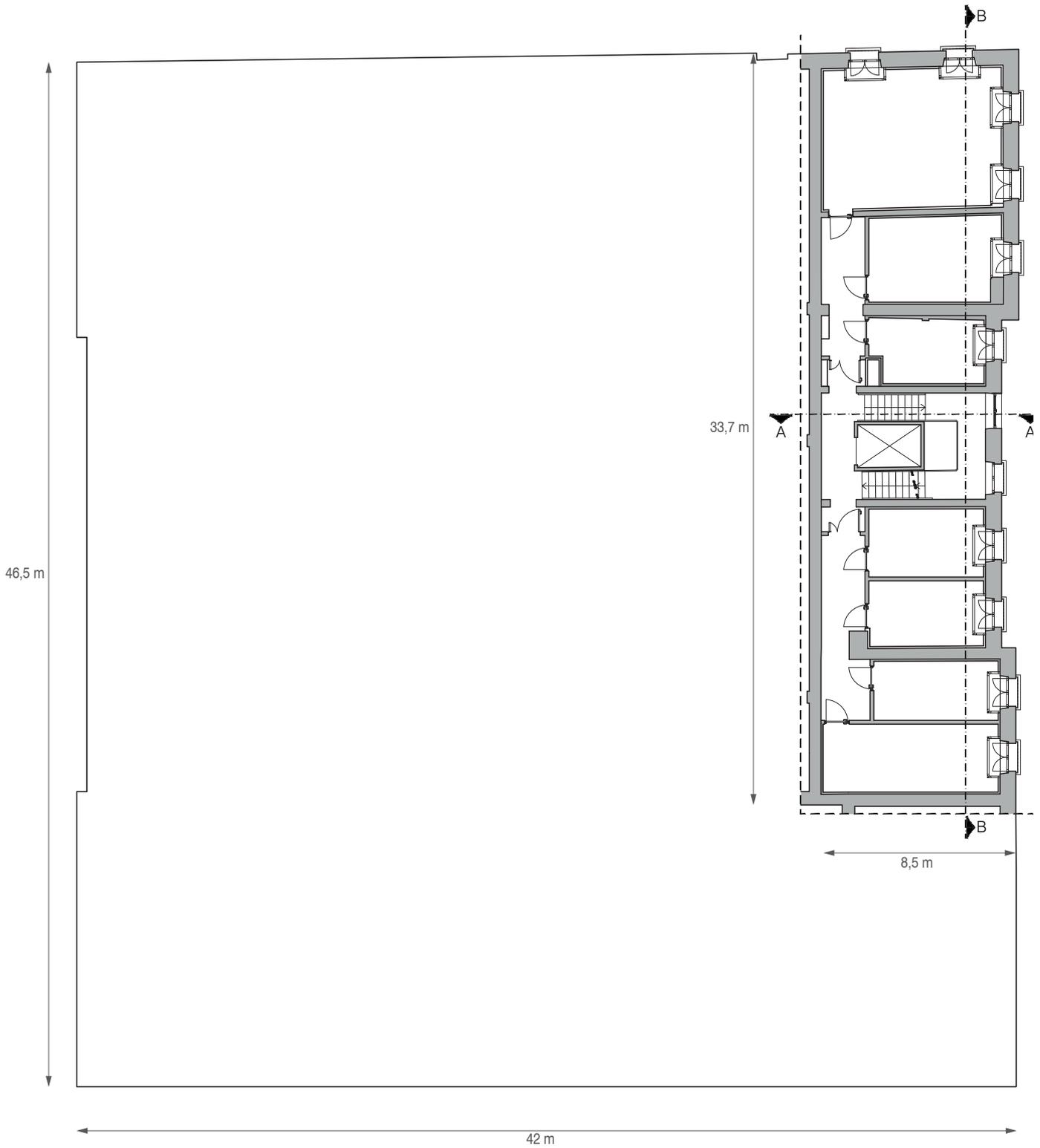
- Dal punto di vista della geometria dell'edificio
- Dal punto di vista di input dei dati e dei parametri.

La loro trattazione verrà analizzata caso per caso nei paragrafi successivi.

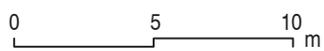
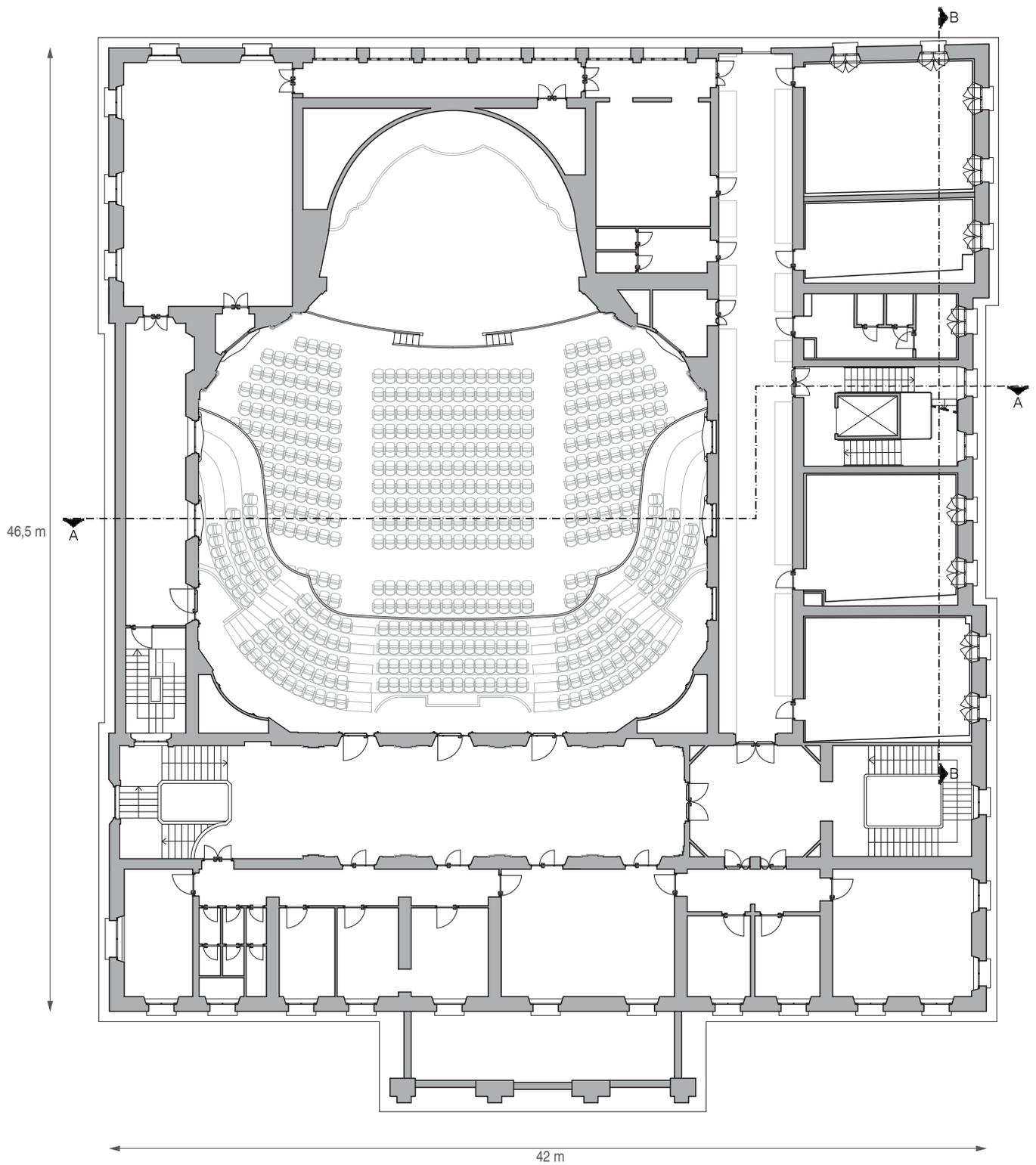




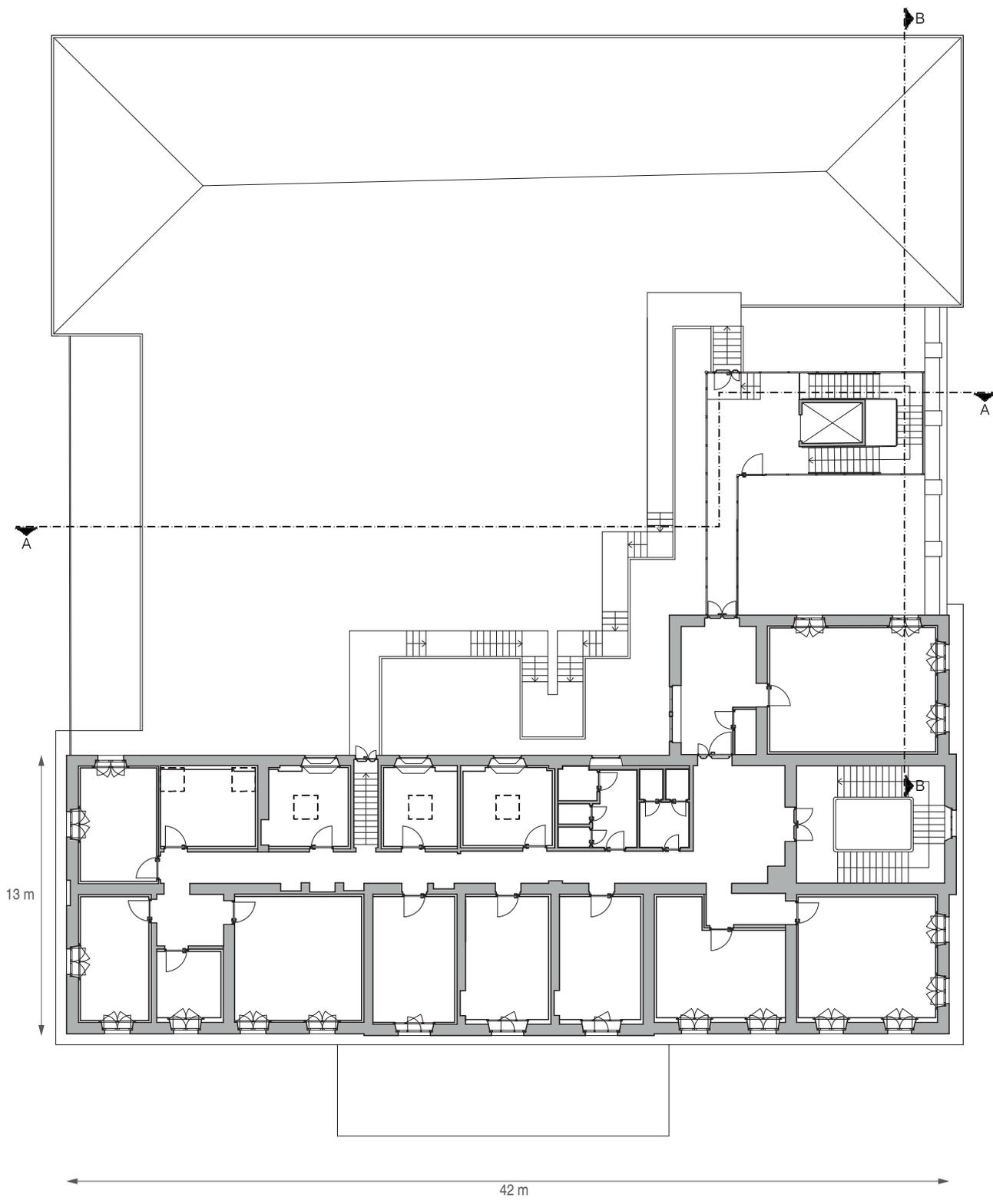
Pianta piano terra



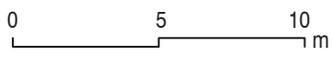
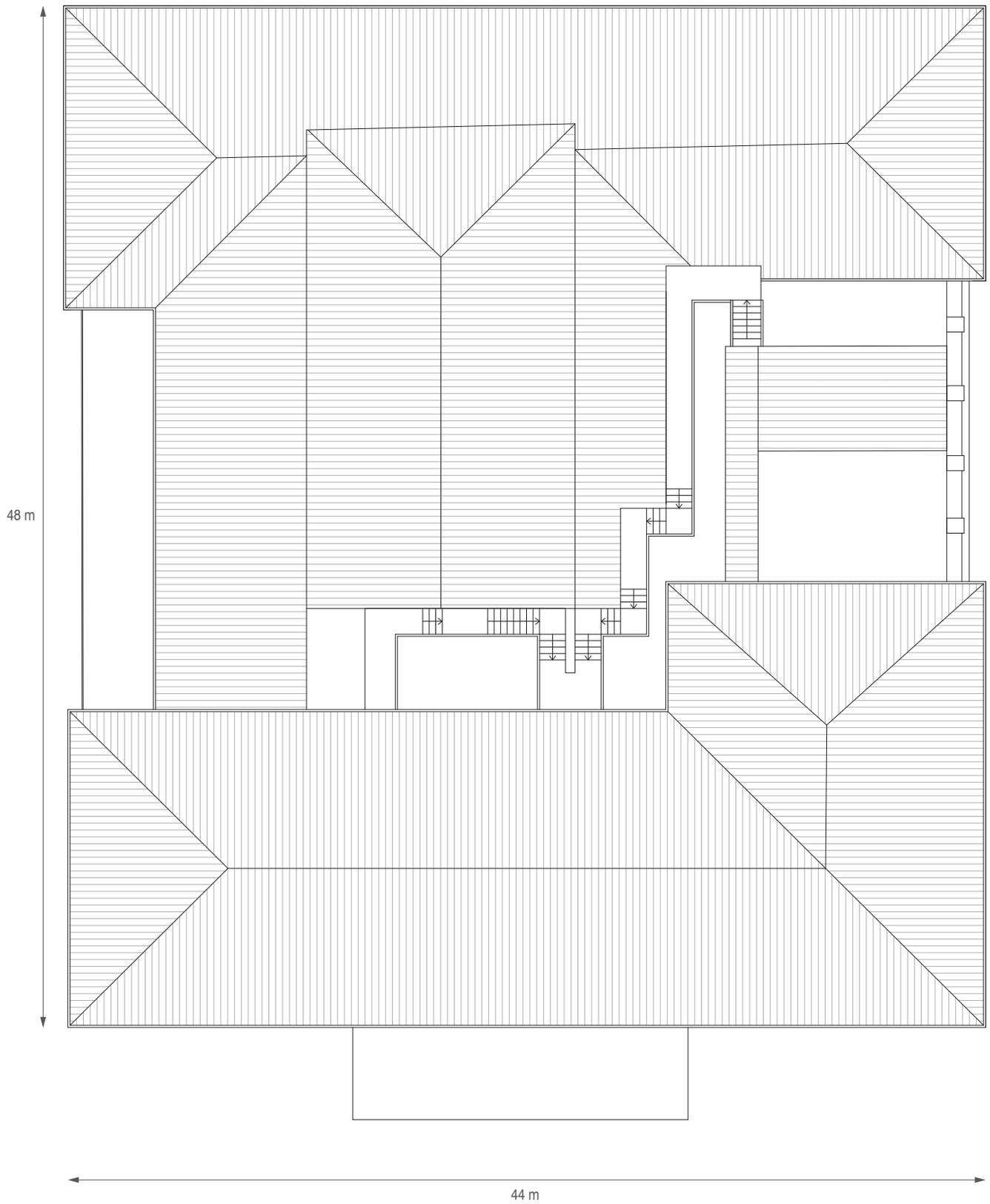
Pianta piano ammezzato



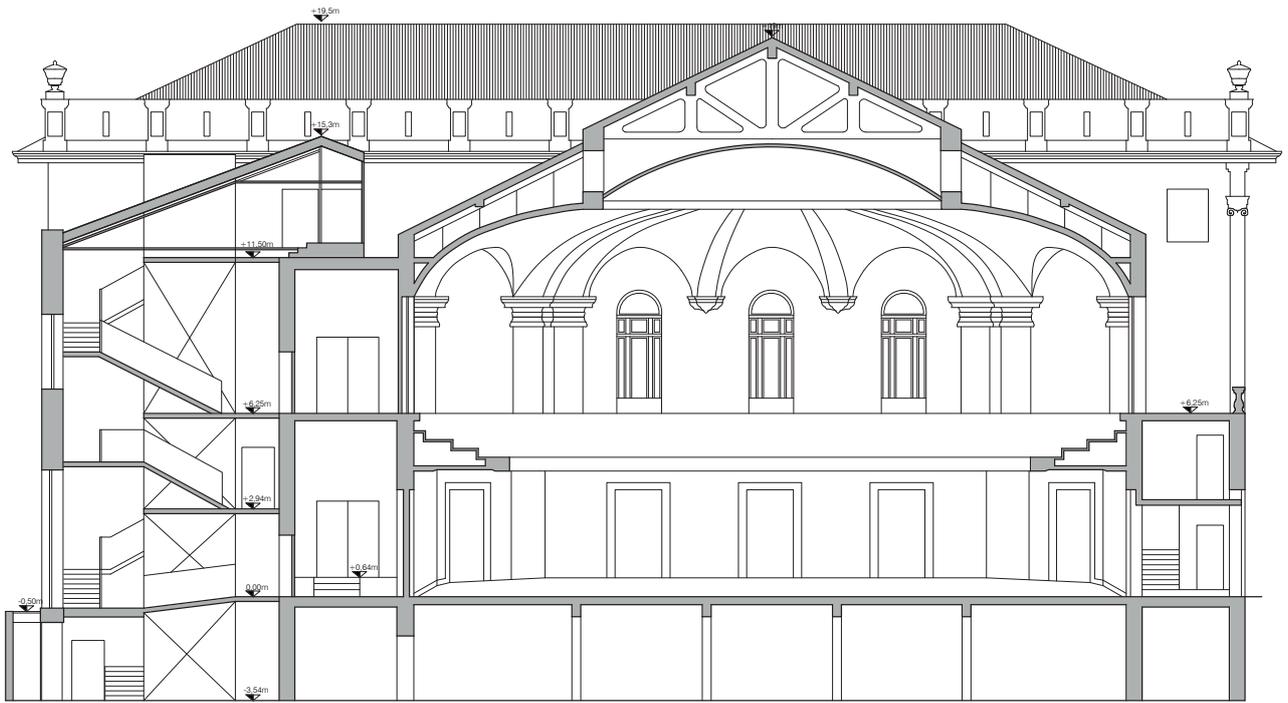
Pianta piano primo



0 5 10 m
 N Pianta piano secondo



Pianta delle coperture



0 5 10 m



Sezione AA



0 5 10 m



Sezione BB

Figura 14. Destinazioni d'uso presenti nel Conservatorio di musica.

LEGENDA

- Locali di servizio
- Uffici
- Aule
- Salone Concerti
- 🚶🚶 Collegamenti verticali



Figura 15. Foyer al piano primo.



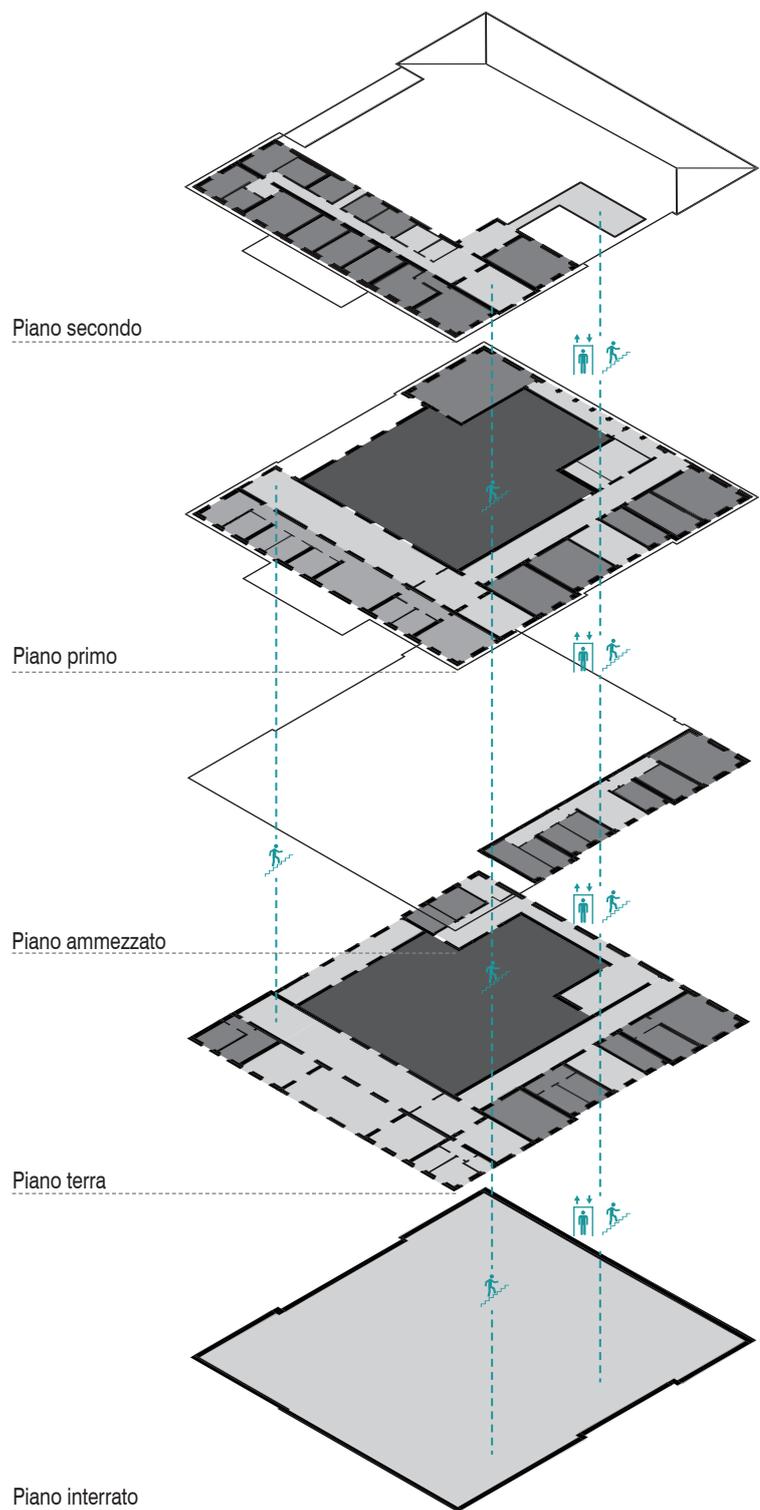
Figura 16. Ufficio al piano primo.



Figura 17. Aula riqualificata al piano terra.



Figura 18. Salone dei concerti.



5.5 IMPOSTAZIONE DEL MODELLO NEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Una volta compresi gli aspetti difficoltosi da modellare dal punto di vista geometrico, è stato necessario apportare delle modifiche al disegno del rilievo per rendere più agevole la modellazione nel *software*.

Il primo passo per la costruzione del modello è l'importazione delle piante e, successivamente, la definizione del *building body*; sono stati importati dei file *dwg* disegnati in metri dei locali da rappresentare, già frutto delle semplificazioni geometriche, in quanto il programma non riconosce figure geometriche complesse come le superfici curve (volte, archi, ecc.). Le semplificazioni hanno riguardato nello specifico:

- Il piano interrato: essendo una zona non riscaldata che ospita perlopiù i sistemi di generazione degli impianti, è stato considerato come unico ambiente senza partizioni;
- Il salone concerti: piuttosto difficoltoso da modellare a causa della presenza della volta e di superfici curve, si è deciso di razionalizzare tali geometrie complesse date dai vani di risulta compresi tra il palco e il corridoio.

In totale sono state importate sei piante così disposte:

- Pianta piano interrato inserita al livello -3,54 m;
- Pianta piano terra inserita al livello 0,00 m;
- Pianta piano ammezzato inserita al livello 2,94 m;
- Pianta piano primo inserita al livello 6,25m;
- Pianta piano secondo inserita al livello 11,50 m;
- Pianta sottotetto inserita al livello 15,31m.

Successivamente è stato necessario definire il *building body*, ovvero l'involucro dell'edificio che dal livello più basso fino alle coperture delimita ciò che è ambiente interno da ambiente esterno. Il *building body* è dunque estremamente importante poiché rappresenta la superficie disperdente verso l'esterno e le zone termiche devono essere sempre all'interno del *building body*, altrimenti verrà segnalato come errore. Il *building body* dell'edificio oggetto di studio parte dalla quota -3,54 m ed arriva a quota 15,51 m.

Una volta importate le piante di riferimento e definita la superficie disperdente, è possibile procedere con la definizione delle zone.

Tabella 1. Principali dati geometrici del Conservatorio di musica.

Area totale del modello	6661,2 m ²
Volume totale del modello	29590,7 m ³
Superficie totale disperdente	7845,5 m ²
Fattore di forma S/V	0,2651 m ² /m ³

5.6 ZONE TERMICHE

Secondo la UNI/TS 11300 [49], si definiscono zone termiche di un edificio le porzioni di esso climatizzate ad una determinata temperatura e con identiche modalità di regolazione, a meno che non si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni:

- Le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre i 4K;
- Gli ambienti non sono raffrescati o le temperature interne di raffrescamento non differiscono di non oltre 4K;
- Gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di climatizzazione.

Inoltre è possibile che per lo stesso edificio la zonizzazione relativa al riscaldamento differisca da quella relativa al raffrescamento.

Una volta chiari questi concetti, è necessario individuare il sistema edificio-impianto, ovvero gli edifici o porzioni di edificio climatizzati attraverso un unico sistema di generazione. Successivamente si procede con l'individuazione delle zone termiche.

Nel caso specifico del conservatorio, esso dispone di diversi impianti che permettono di gestire autonomamente ambienti differenti che possiedono:

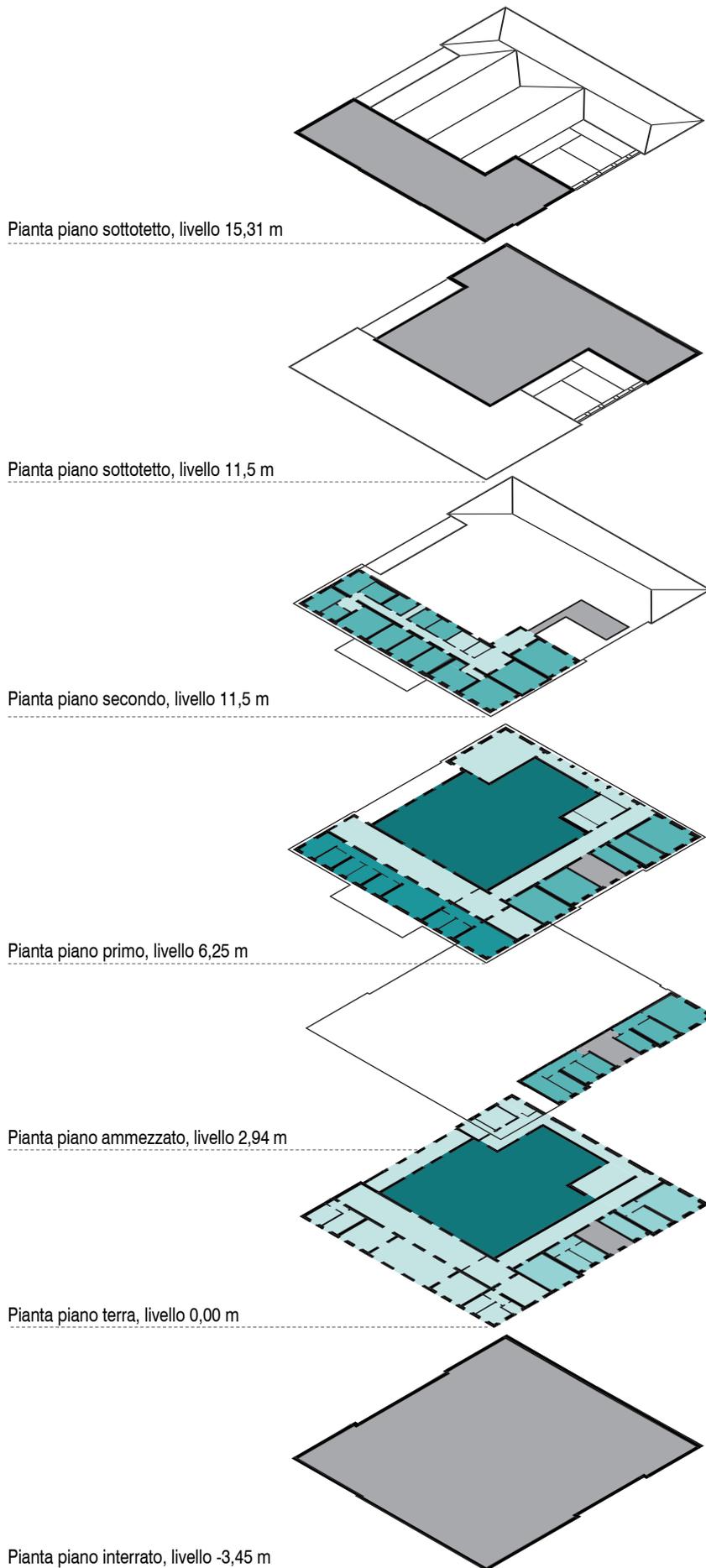
- Diverse caratteristiche geometriche;
- Diverse esigenze occupazionali (figura 14).

All'interno del conservatorio di musica sono state individuate in totale 6 zone termiche, come descritto nella figura 19. Per la descrizione dettagliata degli impianti si rimanda al paragrafo 5.15 che ne contiene la trattazione.

Figura 19. Classificazione delle 6 zone termiche.

LEGENDA

- ZONA TERMICA 1
Zona non riscaldata.
- ZONA TERMICA 2
Zona riscaldata e raffrescata. Impianto di climatizzazione a tutt'aria controllato da tre UTA telegestite e terminali aeraulici.
- ZONA TERMICA 3
Zona riscaldata e raffrescata con ventilazione meccanica controllata. Impianto di climatizzazione misto aria-acqua con terminali idronici (fan-coils).
- ZONA TERMICA 4
Zona riscaldata e raffrescata con ventilazione meccanica controllata. Impianto di climatizzazione misto aria-acqua con terminali idronici (pannelli radianti a soffitto).
- ZONA TERMICA 5
Zona riscaldata. Sistema di riscaldamento a gas con terminali ad alta temperatura (radiatori).
- ZONA TERMICA 6
Zona riscaldata e raffrescata. Impianto di riscaldamento a gas con terminali ad alta temperatura (radiatori) e condizionamento con multisplit fissi a parete.



Nel software IDA-ICE è possibile definire le zone, ciascuna con il proprio impianto di riferimento associato.

Per quanto riguarda la definizione delle zone termiche all'interno del modello, è stato possibile definirle tramite il comando *show/edit zone templates*, in modo tale da raggruppare tutti gli ambienti che rispondono al medesimo sistema di generazione-emissione.

Dopo aver definito tutte le zone termiche si è proseguito con la creazione di ciascun ambiente. A questo punto è stato necessario affrontare anche le altezze degli ambienti e infine la modellazione del tetto.

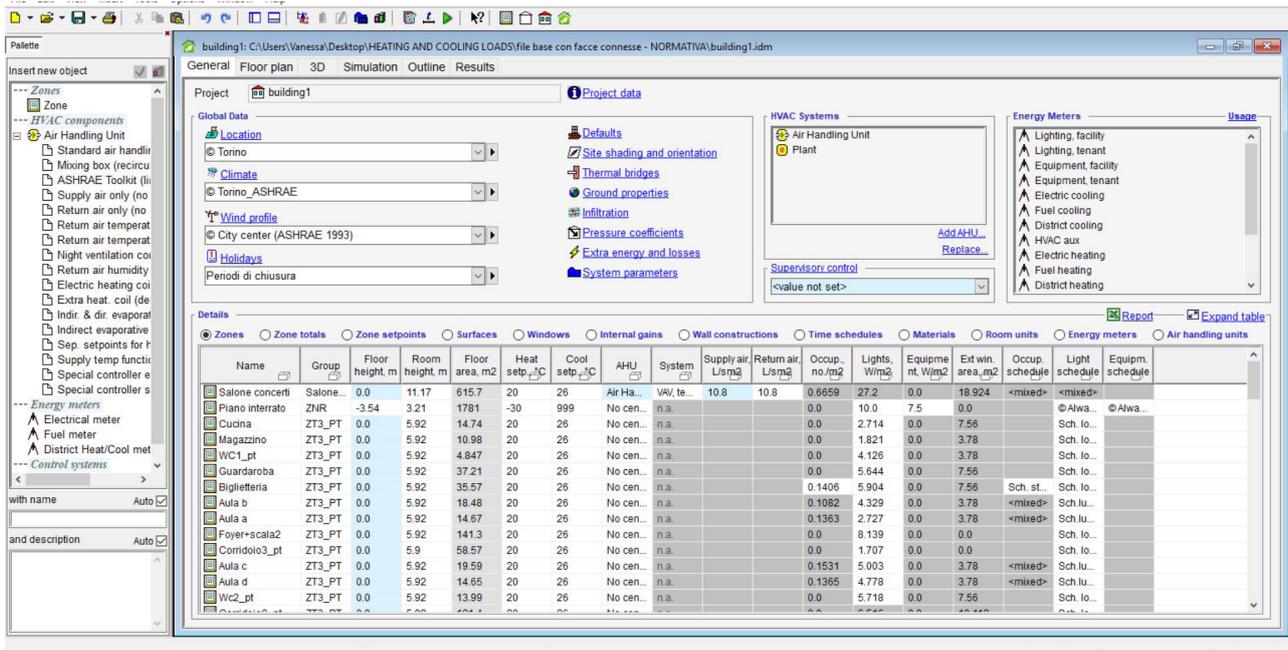


Figura 20. Schermata principale del software IDA-ICE.

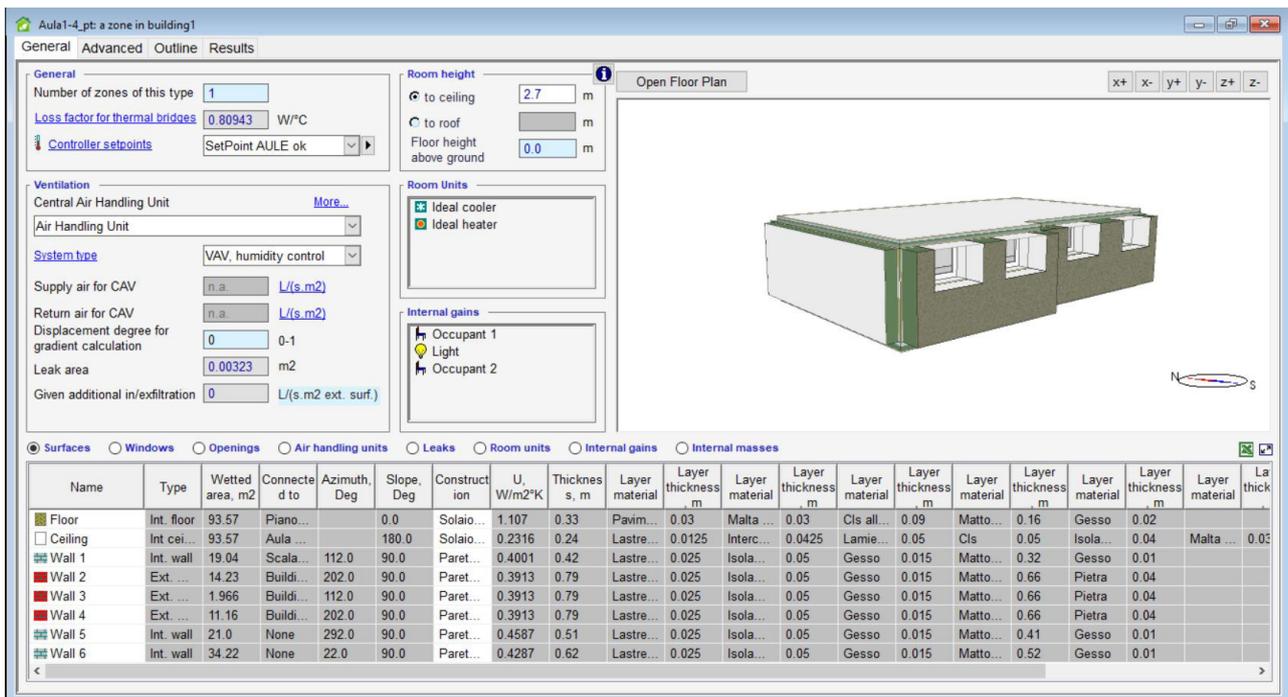


Figura 21. Esempio di una zona.

Le semplificazioni adottate durante la creazione degli ambienti sono state le seguenti:

- Il caso studio, esattamente come in molti altri edifici storici, è caratterizzato da una grande varietà di altezze d'interno differenti che creano una volumetria molto articolata e tali aspetti dimensionali finiscono per influenzare fortemente i volumi riscaldati; ciò è dovuto principalmente al fatto che l'edificio possiede un dislivello poiché piazza Bodoni e via San Francesco da Paola si trovano a due quote diverse; gli ambienti verso piazza Bodoni presentano un'altezza interna al piano terra di 5,30 m mentre quelli verso via San Francesco da Paola 6,40 m. Come semplificazione si è deciso di utilizzare per tutti gli ambienti del piano primo (escluso il salone concerti) un'altezza interna di 5,92 m, anche per far sì che le aule verso via Mazzini potessero avere l'altezza di 2,70 m come nella realtà.
- Per quanto riguarda il salone concerti, non è stato possibile modellare la superficie curva data dalla volta ellittica, motivo per cui è stata sostituita con un semplice solaio piano verso il sottotetto.
- Anche le zone sottotetto e le coperture hanno subito semplificazioni a causa della loro complessità, dovuta all'intersezione dei diversi corpi che compongono la fabbrica. Di fatto nella realtà risulta difficile conoscere in modo certo l'elemento sottotetto, in mancanza di documenti dettagliati e affidabili, motivo per cui, per comodità di modellazione sono state fatte due zone sottotetto: la prima al di sopra delle aule didattiche del secondo piano e la seconda, un'unica zona sottotetto posta sopra il salone concerti e gli spazi verso via S. Francesco da Paola.
- In ultimo, per semplicità si è deciso di modellare il piano seminterrato interamente contro terra, anche se nella realtà si trova parzialmente verso esterno.

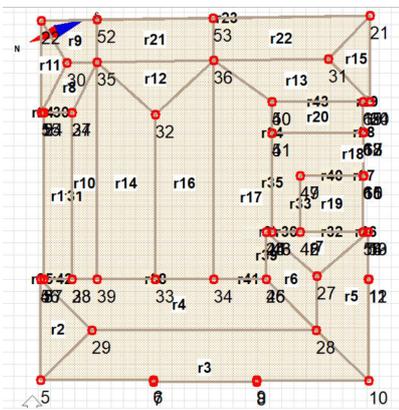


Figura 22. Modellazione del tetto.

Gli ambienti creati in totale sono 29, ognuno diverso dall'altro dal punto di vista geometrico, a causa della tipologia edilizia e dell'articolazione interna dell'edificio.

Una volta costruite le zone (figura 20, 21) e definite le coperture (figura 22), è possibile cominciare ad attribuire a ciascuna di essa le proprietà di involucro opaco e trasparente.



Figura 23. Vista del modello dalla sezione 3D del software.

Figura 24. Vista del modello dalla sezione 3D del software.

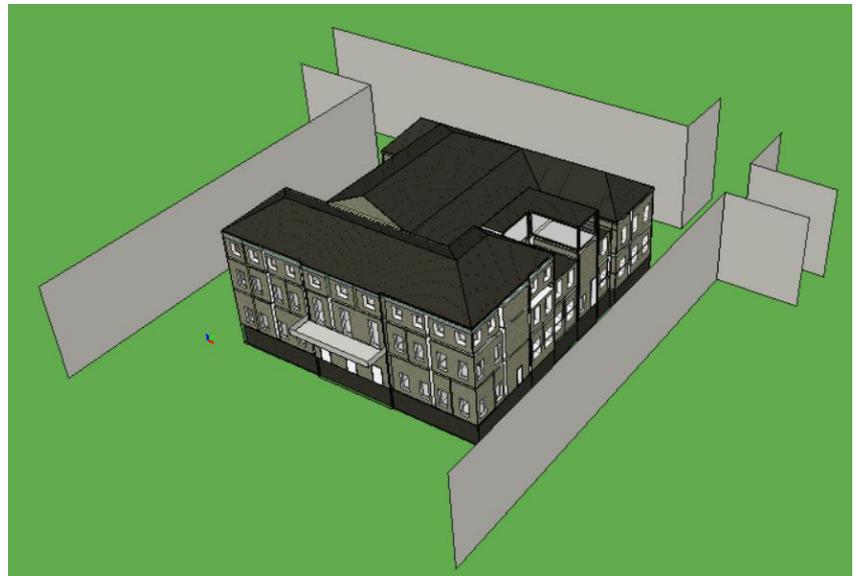


Figura 25. Vista del modello dalla sezione 3D del software.



5.7 INVOLUCRO OPACO

Prima di arrivare a definire i parametri di trasmissione termica dell'involucro opaco è stato necessario riuscire a descrivere i vari pacchetti tecnologici di cui l'edificio si compone, per le chiusure verticali, orizzontali e le porte.

5.7.1 CHIUSURE VERTICALI E ORIZZONTALI

Per fare ciò, si è partiti dai disegni di progetto dell'intervento di riqualificazione delle aree didattiche realizzato nel 2015 dalla *Tecnicaer Engineering*. Da questi disegni è stato possibile dedurre che la tecnica costruttiva impiegata per la realizzazione dell'edificio (anche in base al periodo di costruzione) è la muratura portante di mattoni pieni. Inoltre è possibile notare come l'edificio presenti alcune peculiarità proprie degli edifici storici che risalgono ai primi anni del Novecento, ovvero:

- Numerosi spessori diversi di parete e solaio;
- Il tipico restringimento delle chiusure verticali nei piani più alti;
- Il rivestimento in pietra in facciata;
- Le cornici in pietra delle aperture.

Il non reperimento di disegni più dettagliati e completi e l'impossibilità di un'analisi stratigrafica più approfondita ha reso necessario effettuare delle assunzioni per le stratificazioni dei pacchetti tecnologici non noti. Questa fase di definizione è stata piuttosto complessa proprio perché non è dato sapere la reale stratigrafia dei componenti d'involucro e, di conseguenza, il reale spessore dei materiali che li compongono. Per cercare di effettuare ipotesi ragionevoli, è stata condotta una ricerca bibliografica su alcuni manuali di tecniche costruttive storiche [56], [57], [58] (figure 26,27,28). Questa prima fase ha portato a una definizione di massima dei pacchetti tecnologici. Dopodiché si è passati a definire i vari pacchetti tecnologici più dettagliatamente, operando una classificazione delle chiusure verticali secondo spessore, tipologia e ambiente di confine (Allegato A).

Dopo aver definito ogni pacchetto tecnologico dell'involucro opaco dell'edificio, secondo materiale e spessore, si è passati a definire i parametri di trasmissione termica. Per fare ciò, si è partiti dalla normativa di riferimento, la UNI/TS 11300-1 [49]. Tale normativa al capitolo 11 afferma che: «In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori dei parametri termici dei componenti edilizi di edifici esistenti possono essere ricavati dalla UNI TR 11552 o da letteratura tecnica in funzione della tipologia edilizia e del periodo di costruzione. Nel

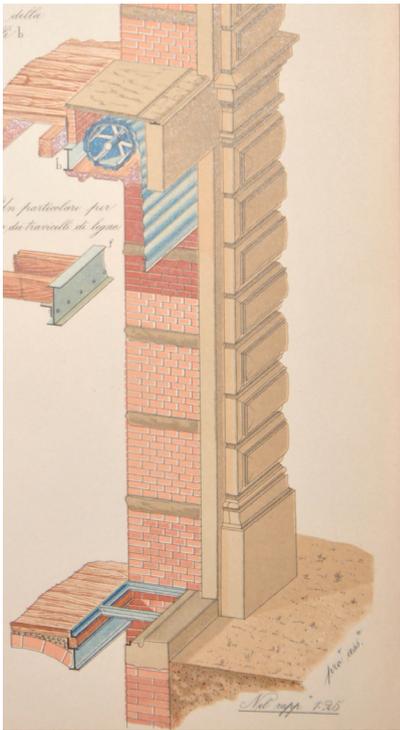


Figura 26. Ipotesi di stratigrafia delle chiusure verticali storiche. Fonte: manuale Formenti vol.1

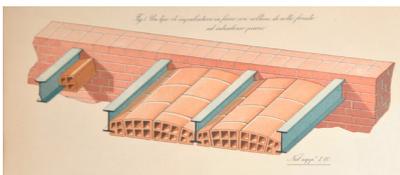


Figura 27. Ipotesi di stratigrafia delle chiusure orizzontali storiche. Fonte: manuale Formenti vol.1

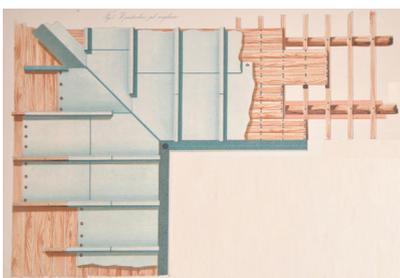


Figura 28. Ipotesi di stratigrafia delle coperture inclinate storiche. Fonte: manuale Formenti vol.1

caso vengano utilizzati dati ricavati da letteratura tecnica l'origine dei dati deve essere riportata nel rapporto finale di calcolo».

La UNI/TR 11552 [59] è un rapporto tecnico in cui vengono forniti i principali parametri termofisici dei componenti opachi dell'involucro maggiormente utilizzati negli edifici esistenti. Gli abachi presenti all'interno di questo testo sono molto utili nella pratica quotidiana dei professionisti, in quanto grazie ad essi è possibile effettuare una valutazione di massima delle strutture tramite la loro diffusione geografica. Tuttavia, gli abachi proposti non sempre rispecchiano in modo sufficientemente valido la realtà, risultando troppo lontani da quella che è la reale stratigrafia; inoltre, gli abachi si riferiscono ad edifici esistenti sul territorio nazionale ma non necessariamente storici, ed il periodo storico più "lontano" cui si fa riferimento è fine Ottocento/primo Novecento, e per tale periodo vengono mostrate solo poche stratigrafie.

A causa delle carenze riscontrate durante la consultazione di queste normative, si è deciso di tenere come assunzione le stratigrafie dettagliate ipotizzate e procedere con il calcolo manuale della trasmittanza per le chiusure verticali e orizzontali (vedi allegato A).

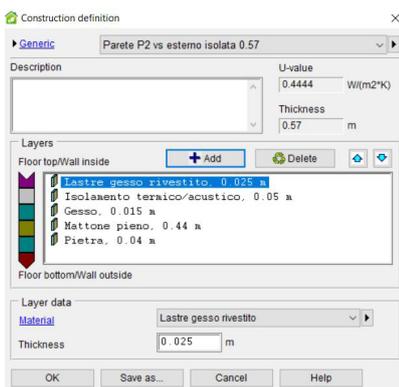


Figura 29. Finestra per la definizione delle stratigrafie degli elementi di involucro opaco all'interno del software.

Una volta ottenuti i parametri di trasmissione termica, si è passati alla definizione e attribuzione degli elementi di involucro opaco all'interno del software IDA-ICE (figura 29).

In seguito alla classificazione di chiusure verticali e orizzontali, tutte le stratigrafie individuate sono state create all'interno del programma tramite il pannello *Building defaults*. Per avvicinarsi il più possibile alla trasmittanza calcolata manualmente, prima sono stati creati tutti i materiali con i valori di conduttività trovati in fase di ricerca bibliografica e successivamente sono state create le stratigrafie. In questo modo i valori di trasmittanza sono risultati coincidenti. Dopodichè ad ogni zona sono state associate le stratigrafie per quanto riguarda pareti, pavimenti, solai e coperture.

5.7.2 PORTE

Il conservatorio di musica presenta numerose tipologie di porte, tra antiche e di più recente installazione. Anche in questo caso non è stato possibile avere informazioni specifiche, dunque per quanto riguarda le porte antiche ci si è affidati alle informazioni riportate a seguito di una ricerca storica contenute all'interno della tesi di Laurea di Sperone del Politecnico di Torino [60], mentre per le porte più recenti si è fatto riferimento a schede tecniche di prodotti presenti in commercio.

Una volta individuati i materiali principali di cui le porte sono fatte, per comodità, esse sono state classificate tra porte che danno verso esterno e porte che danno verso interno.

Per quanto riguarda le porte che danno verso l'esterno, esse sono tutte antiche e costituite da legno massiccio ed è stata presa in considerazione la conduttività termica del legno di abete. Gli spessori variano da 0,05 m a 0,08 m.

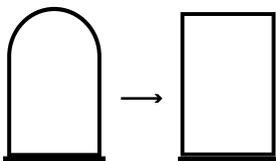
Le porte interne invece sono state differenziate nel modo seguente:

- Porte antiche in legno massiccio (spessore 0,05 m) per cui è stata utilizzata la conduttività termica del legno di abete;
- Porte di recente installazione in legno compensato (spessore 0,05 m) per cui è stata utilizzata la conduttività termica del legno di pioppo;
- Porte REI 60 (spessore 0,05 m) per cui sono stati presi come riferimento dei valori di trasmittanza termica relativi a porte tagliafuoco presenti in commercio. Le tipologie prese in considerazione sono: porte REI a un'anta ($U=1,58W/m^2K$) e porte REI a due ante con oblò ($U=2,92W/m^2K$).

All'interno del programma IDA-ICE è possibile definire le porte all'interno della finestra *Building Defaults*, nella sezione *Door construction*. Esattamente come per le pareti ed i solai, anche per le porte è necessario creare una stratigrafia definendo materiali e loro proprietà. Dopo aver definito queste proprietà, è possibile creare dei *templates* di porte cui all'occorrenza è sufficiente modificarne solo la geometria.

Per quanto riguarda la geometria, per alcune delle porte antiche è stato necessario apportare delle semplificazioni poiché presentano la conformazione ad arco tipica delle aperture storiche, motivo per cui è stato inevitabile "razionalizzare" la geometria in modo tale da poterle inserire nel programma, che non riconosce linee curve.

5.8 INVOLUCRO TRASPARENTE



Nell'edificio sono presenti due tipologie di serramenti: la prima è quella costituita dagli infissi originali mentre la seconda prevede gli infissi recentemente installati in seguito ai lavori di riqualificazione delle aule (Allegato B per la classificazione completa).

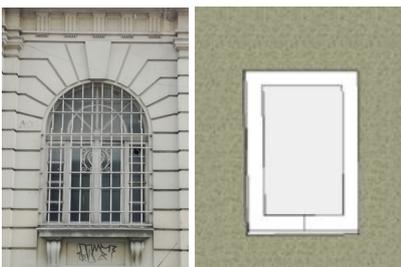


Figura 30. Finestra al piano terra nella realtà e modellata nel software.

Anche per l'involucro trasparente è stato doveroso fare:

- Assunzioni per quanto riguarda la definizione dei parametri termofisici delle vetrate e dei telai, avendo poche informazioni sulle caratteristiche reali;
- Semplificazioni per quanto riguarda le geometrie (figura 30).

Per quanto riguarda gli infissi originali, è stato possibile trovare alcune informazioni più specifiche all'interno della tesi di Sperone

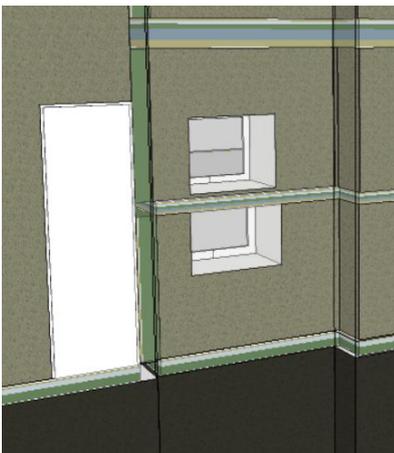
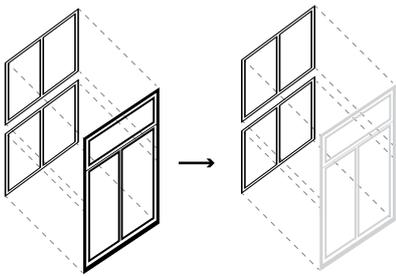


Figura 31. Foto scattata da via Mazzini che riprende la porzione di aule ricalificate e identificazione della finestra dell'aula 5.

Figura 32. Foto scattata dall'interno dell'aula 5 che mostra la finestra di nuova installazione energeticamente più efficiente di quella storica.

Figura 33. Vista del modello 3D di IDA-ICE che mostra la modellazione delle finestre delle aule ricalificate.

sul Conservatorio di musica [60] ed altra letteratura tecnica [61], tanto per le vetrate quanto per i telai. Inoltre, la presenza di alcune finestre ad arco ha reso necessaria la razionalizzazione della forma durante la costruzione del modello.

Il problema principale relativo all'involucro trasparente è stato quello dovuto alla presenza dei doppi infissi nelle aule ricalificate. Infatti, nelle aule gli infissi originali non sono stati sostituiti ma è stata aggiunta una seconda finestra, a creare un sistema di "finestra doppia". Ciò avviene in numerosi edifici antichi in cui il progetto di ricalificazione prevede l'inserimento di doppie finestre, per un innalzamento prestazionale che non pregiudica l'aspetto esterno della facciata [46].

Tuttavia, la componente "finestra doppia" non si può descrivere nel programma, in quanto esso non permette l'inserimento di due infissi, motivo per cui è stato necessario compiere delle semplificazioni; questa carenza rappresenta una limitazione, perché il comportamento energetico della componente "finestra doppia" considera oltre alla trasmittanza termica delle due finestre che compongono il sistema, la resistenza termica dell'intercapedine d'aria [46].

Le semplificazioni adottate sono le seguenti:

- Laddove sono presenti gli infissi originali, si è scelto di utilizzare i parametri fisico tecnici di un infisso con vetrata singola e telaio in legno, facendo riferimento alla UNI EN ISO 10077-1 [62] e utilizzando i dati della vetrata meno performante presente nel database del programma, con $U = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- In presenza dei doppi infissi, costituiti da infisso originale su filo esterno e infisso recente all'interno (costituito da vetrocamera e telaio in pvc), divisi da un'intercapedine che varia tra 0,8 e 1,20 m, è stato necessario ridurre ciò in termini di un unico infisso. Per fare ciò si è optato per considerare l'unico infisso avente come caratteristiche geometriche quelle dell'infisso interno e come parametri fisico tecnici quelli di una vetrata con le prestazioni migliori presente nel database del programma, ovvero una vetrata costituita da triplo vetro di 4 mm e 15 mm di intercapedine con gas argon con $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ e telaio in pvc. Tale assunzione è stata necessaria per cercare di avvicinarsi il più possibile alle prestazioni effettive del doppio infisso (figure 31,32,33).

L'attribuzione degli elementi di involucro trasparente all'interno del programma è possibile nella sezione *Glazing* della finestra *Building Defaults* (figura 34). Come descritto in precedenza, sono state create due tipologie di vetrate (una per le finestre antiche e un'altra per quelle più recenti), salvate come *templates*. Successivamente, tramite la finestra *Palette*, sono state inserite le finestre in

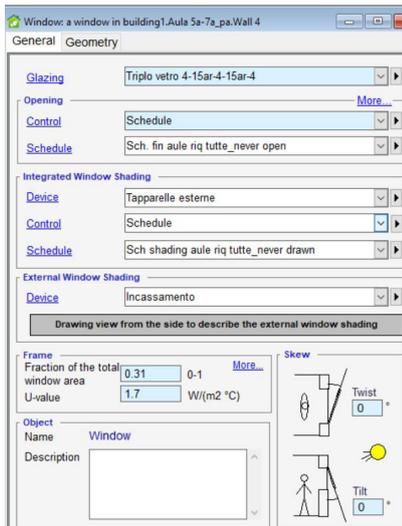


Figura 34. Finestra in cui è possibile definire i parametri termo-fisici degli elementi di involucro trasparente.

pianta per poi ridefinire la geometria e attribuire i parametri della vetrata precedentemente creati.

Inoltre, nella finestra *Window*, non solo è possibile definire i parametri di vetro e dei sistemi di oscuramento (5.8.1) ma anche l'incassamento delle finestre nella sezione *external window shading*. Per le finestre storiche è stato attribuito un incassamento di 0,30m rispetto il filo esterno, mentre per le finestre delle aule riqualificate è stato associato un incassamento che varia tra i 0,80 e 1,20 m, a seconda dell'aula (tabelle 2 e 3).

5.8.1 SISTEMI DI OSCURAMENTO

I sistemi oscuranti presenti nel conservatorio di musica sono di due tipi:

- Esterni, ovvero le tapparelle;
- Interni, ovvero le tende.

Le informazioni relative alle tapparelle sono state reperite consultando la tesi sul conservatorio in cui è riportato che le “gelosie avvolgibili sono in Pino del Nord e i cassettoni in legno di abete” [60]. Le tende, invece, sono di tessuto bianco.

Le tapparelle sono presenti in tutte le aperture ad esclusione di:

- Al piano terra: Fin_3
- Al piano primo: Fin_6; Fin_13 (salone e saletta concerti)

Invece le tende sono presenti in tutti gli uffici (escluso quello del direttore) e nell'aula 11 al piano primo.

Le schermature esterne non possono essere controllate nelle aule riqualificate in quanto il serramento interno dovrebbe rimanere sempre chiuso. Tuttavia per il loro funzionamento si rimanda al paragrafo sulla definizione dei profili temporali che ne contiene la trattazione.

All'interno del *software* è possibile scegliere il tipo di schermatura tramite il pannello *Building Defaults* nella sezione *Integrated window shading*. Una volta creato l'elemento schermante è possibile attribuirlo alle finestre che ne sono provviste. Come elemento schermante è stato scelto uno tra quelli proposti dal *software*, in quanto non è possibile crearne di nuovi; in particolare si è scelto *external blind (BRIS)* e i parametri non sono stati cambiati. Invece, nelle finestre sprovviste di tapparelle è stata selezionata l'opzione *no integrated shading*.

Dal momento che è possibile inserire un solo oggetto di schermatura, si è deciso di tenere solo le tapparelle ed ignorare le tende.



Esempio di finestra storica situata presso la saletta dei concerti al piano primo.

Finestre storiche	
Area vetro	varie
Area telaio	varie
Vetro	Singolo - 0,4 cm
Telaio	Legno
Oscuramento esterno	Si - avvolgibili
Oscuramento interno	solo in alcuni ambienti
Unità totali	51
U_{vetro} [W/m ² K]	5,8
U_{telaio} [W/m ² K]	2
Controllo dell'apertura	Schedule
Controllo dell'oscuramento	Schedule
Incassamento	30 cm



Esempio di finestra recentemente installata presso l'aula 18 al piano secondo.

Finestre delle aule riqualificate	
Area vetro	varie
Area telaio	varie
Vetro	Triplo 4-15ar-4-15ar-4
Telaio	Pvc
Oscuramento esterno	Si - avvolgibili
Oscuramento interno	solo in alcuni ambienti
Unità totali	49
U_{vetro} [W/m ² K]	0,6
U_{telaio} [W/m ² K]	1,7
Controllo dell'apertura	Schedule
Controllo dell'oscuramento	Schedule
Incassamento	80 - 120 cm

Tabelle 2 e 3. Tabelle riassuntive per la definizione dei parametri di involucro trasparente inseriti nel programma.

5.9 PONTI TERMICI

Gli elementi murari di edifici storici possono rivelarsi molto disomogenei, nascondendo nelle stratigrafie elementi spesso non visibili ad occhio nudo, come per esempio buche pontae, i vecchi camini oggi chiusi e non visibili, le canalizzazioni nascoste, i vuoti sopra le volte, le catene metalliche di facciata, le lesene, le cornici di porte e finestre, i cornicioni, il bugnato delle facciate, i timpani e molto altro [46].

I ponti termici in questi edifici sono molto complessi da rilevare; generalmente si ricorre alle flussimetrie ma anche in quel caso potrebbe non essere sufficiente, infatti non sempre è fattibile il posizionamento dell'apparecchio affinché la misurazione risulti di successo [46].

Normalmente si ricorre alla UNI EN ISO 10211 [63], un metodo di calcolo completo ma difficoltoso in quanto non sempre è possibile ricavare i dati necessari per il calcolo. Allora si può far riferimento al metodo di calcolo semplificato della UNI EN ISO 14683 [64] che propone degli abachi. Tuttavia, anche in questo caso gli abachi si riferiscono a ponti termici presenti in costruzioni più recenti, senza tenere conto degli elementi tipici dell'edilizia storica sopra citati. Per questo motivo si è deciso di cercare alcuni riferimenti in letteratura tecnica. La ricerca di Cornaro [65] che prevede la simulazione dinamica con il *software* IDA-ICE di un edificio storico piuttosto grande, pone tali valori pari a zero (0 W/mK), ritenendo che essi non influiscano in modo cruciale sul comportamento dell'edificio e sui risultati ottenuti dalla simulazione.

Nel programma è possibile inserire i parametri dei ponti termici in due modi:

- Inserendo direttamente un valore specifico;
- Stabilendo dei valori di dispersione attraverso degli abachi i quali qualificano i valori di trasmittanza termica lineica come: *None, Good, Typical, Poor, Very poor*.

In assenza di valori specifici o misurati, si è deciso di optare per il metodo semplificato degli abachi; tra quanto proposto da Cornaro [65] e la mancanza di altri riferimenti, si è scelto di optare per dei valori *good* a titolo cautelativo.

5.10 INFILTRAZIONI DA INVOLUCRO

Per le infiltrazioni da involucro si è fatto riferimento alla UNI EN 15242:2008 [66]. Le infiltrazioni da involucro solitamente rappresentano il parametro più difficoltoso da misurare, tanto per gli edifici storici quanto per quelli recenti; nello studio di Cornaro

[65] tali infiltrazioni vengono considerate fisse e molto basse. Nel caso del conservatorio di musica è verosimile porre un valore come quello proposto da Cornaro, anche in virtù del fatto che l'edificio è dotato di ventilazione meccanica controllata, quindi i ricambi d'aria rimangono invariati, tuttavia l'aria immessa in ambiente sarà trattata artificialmente.

Nel programma, all'interno della finestra *Infiltration* è possibile definire il parametro scegliendo l'unità di misura (in questo caso *air changes per hour*) e successivamente scegliendo la modalità *wind driven flow*, inserendo il valore 1 ad una differenza di pressione di 50 Pa, come da Normativa [66]. Questa modalità di descrizione delle infiltrazioni prevede la definizione dei coefficienti di pressione con il comando *auto-fill, semi-exposed*.

5.11 PROPRIETÀ DEL TERRENO

Nella UNI/TS 11300-1 [49] viene riportato che i parametri di trasferimento del calore attraverso il terreno vengono descritti dettagliatamente nella UNI EN ISO 13370.

Nel programma è possibile scegliere il metodo di calcolo e tra i due proposti vi è proprio quello della UNI EN ISO 13370 [67]; quindi, scegliendo questo metodo, il trasferimento del calore attraverso il terreno verrà calcolato secondo questo *standard*.

Successivamente il programma fa inserire le proprietà del terreno:

- Sottostante il piano interrato
- Che circonda il piano interrato

Come per l'involucro opaco, è possibile anche in questo caso creare dei pacchetti con le stratigrafie del terreno; tuttavia, in assenza di dati relativi alle fondazioni e non avendo trovato alcun riferimento in letteratura, si suppone che il solaio contro terra e le pareti del piano interrato confinino direttamente con uno strato di terra di conduttività pari a 2 W/mK (dalla UNI EN ISO 13370) e spessore di 1 m.

5.12 APPORTI TERMICI 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 [49] 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; tuttavia, seguendo

questo metodo e inputando i valori frutto di tale ipotetico calcolo, si rischierebbe di sottostimare o sovrastimare il reale comportamento dell'edificio in termini di consumi, motivo per cui si è deciso di optare per inputare dei dati, seppur ipotizzati, più vicini alla realtà, tramite l'osservazione diretta ed altri documenti.

5.12.1 ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

Le luci rappresentano al contempo un apporto termico interno ed un consumo in termini di energia elettrica. Essendo il conservatorio di musica un edificio ampio, per comodità nel descrivere tali elementi verranno suddivisi in:

- Luci nelle aule didattiche riqualificate
- Luci nel salone concerti
- Luci negli spazi storici/di pregio e negli uffici.

Poiché il tipo di apparecchi presenti in queste zone sono simili tra loro.

Purtroppo non è stato possibile venire in possesso delle schede tecniche degli apparecchi installati, motivo per cui sono state fatte delle ipotesi per ricavare i parametri illuminotecnici ed elettrici semplicemente guardando gli apparecchi e le sorgenti presenti in conservatorio, oppure tramite quanto appreso con l'aiuto di altri documenti di seguito descritti.

All'interno del programma è possibile inserire le luci direttamente in ogni ambiente, nella sezione *Internal gains*.



Figura 35. Apparecchi per l'illuminazione artificiale presenti nelle aule. In questa foto l'aula 18 al piano secondo.

Aule riqualificate:

Le aule presentano una controsoffittatura che ospita oltre ai pannelli radianti e le griglie per la ventilazione meccanica controllata, anche dei moduli predisposti per la luce artificiale; questi moduli sono di 0,6 x 0,6 m e sono degli apparecchi a incasso per quattro sorgenti fluorescenti lineari (figura 35). Tramite una ricerca dei prodotti presenti in commercio, l'ipotesi più plausibile è stata quella di optare per una sorgente da 14 W. L'apparecchio descritto si ripete uguale in tutte le aule del piano terra, ammezzato, primo e secondo, variando di numero in base alla grandezza dell'aula stessa. All'interno del programma è stato creato un *template* che per comodità rappresenta un apparecchio, quindi gli è stato attribuito come valore di potenza quello relativo a un apparecchio, ovvero 56 W.

Salone concerti:

L'illuminazione che costituisce il salone si suddivide principalmente in:

- Illuminazione del palco;
- Illuminazione dall'alto della volta (figura 36);
- Illuminazione data dagli apparecchi a muro presenti al fondo

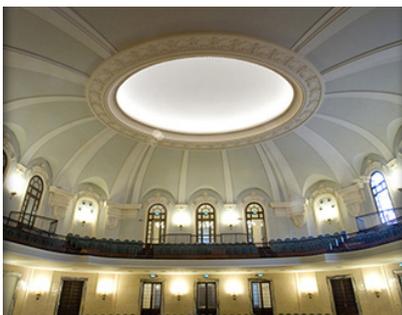


Figura 36. Illuminazione proveniente dalla volta. Fonte: conservatoriotorino.gov.it



Figura 37. Illuminazione degli apparecchi a muro storici al fondo di platea e galleria. Fonte: conservatoriotorino.gov.it



Figura 38. Illuminazione del corridoio (locale di servizio) verso Via San Francesco da Paola al piano terra.



Figura 39. Illuminazione del foyer (locale di pregio) al piano terra.



Figura 40. Apparecchio di illuminazione artificiale posto nell'ufficio 1 al piano primo.

di platea e galleria (figura 37).

Per l'illuminazione del palco è stata utile una planimetria trovata all'interno del sito web del conservatorio con la collocazione delle luci, la tipologia e la quantità (Allegato C). Essi sono per lo più faretti e proiettori LED tipici dell'illuminazione da scena.

Per quanto riguarda l'illuminazione proveniente dalla volta, si è fatto riferimento a quanto descritto da Sperone nella sua Tesi di Laurea [60]. In essa viene riportato che: «la volta del salone e quella del palcoscenico è costituita da centine e tavolato in legno, ricoperto da rete metallica, sulla quale è stato disteso l'intonaco. La volta ha la forma ellittica e, nel suo centro, si apre una seconda ellisse ad essa concentrica dalla quale si diffonde la luce, mediante centoventi lampade nascoste sotto la cornice.» La tesi, che attraverso una ricerca bibliografica da fonti storiche ripercorre il periodo di costruzione dell'edificio, riporta da un periodico del 1928 che: «lo studio dell'impianto elettrico venne effettuato dal Civico Servizio Tecnologico che ideò di disporre nella cupola (praticabile dall'esterno) le lampade sopra dei carrelli snodati scorrevoli, sopra rotaie, in modo da permettere la loro pulizia e sostituzione da un solo punto in cui si trovi l'operatore. La parte bassa del capolino, nascosta agli occhi del pubblico dalla cornice, presenta opportuna apertura per la ventilazione, resa necessaria dall'esistenza delle 120 lampade da 150 watt cadauna, pari ad un complesso di circa 36.000 candele». Grazie a queste informazioni si è ipotizzato che il numero delle lampade sia rimasto invariato e che, al posto di un wattaggio così alto tipico di sorgenti a incandescenza più antiche, ci siano oggi delle lampade a LED con un wattaggio di 18,5.

L'illuminazione data dagli apparecchi al fondo della platea e della galleria è stata ipotizzata tramite l'osservazione diretta; infatti, tali apparecchi storici sono dotati di 9 sorgenti ciascuno, tutte fluorescenti compatte con wattaggio di 18. Gli apparecchi in totale sono 20 e le sorgenti 180.

Spazi storici/di pregio e uffici:

In tutti gli altri spazi che non sono le aule didattiche o il salone concerti, sono presenti apparecchi a muro o a soffitto, tutti con sorgenti fluorescenti. In particolare, le fluorescenti compatte integrate hanno potenza di 20 W e 23 W mentre quelle lineari 35 W e 49 W (figure 38, 39, 40).

5.12.2 APPARECCHI ELETTRICI

Per quanto riguarda le apparecchiature elettriche, esse si concentrano soprattutto negli uffici, ad eccezione fatta di alcuni apparecchi

che si trovano anche nelle aule. In particolare essi sono PC fissi, stampanti, fotocopiatrici, alcune TV e un deumidificatore situato nell'aula 9 degli strumenti antichi sempre al piano primo. Anche per gli apparecchi non è stato possibile reperire le schede tecniche degli apparecchi realmente installati, motivo per cui si è fatto riferimento alle specifiche di apparecchi presenti sul mercato.

All'interno del programma è possibile definire gli apporti interni dati dagli apparecchi all'interno di ogni ambiente dalla sezione *Internal gains*. Sono stati creati dei *templates* per ogni apparecchio, specificando la potenza elettrica massima assorbita durante il funzionamento.

5.12.3 OCCUPAZIONE DEGLI AMBIENTI

Per definire il numero massimo di persone presenti in ogni ambiente, la UNI/TS 11300-1 rimanda alla UNI 10339 [68] in cui all'appendice A definisce gli indici di affollamento dati da persone/mq per tutti gli ambienti in cui sia previsto lo stazionamento di persone (non vengono dunque definiti i transiti, i corridoi e i servizi). Anche in questo caso, inputando i numeri derivanti da questa procedura potrebbero influenzare negativamente la bontà del risultato della simulazione, motivo per cui si è deciso anche in questo caso di optare per inputare dei dati derivanti dall'osservazione diretta, i quali verosimilmente dovrebbero far avvicinare maggiormente i risultati alla realtà.

Innanzitutto si sono individuate le tipologie di utenze presenti nel conservatorio di musica, ovvero:

- Gli studenti;
- Gli insegnanti;
- Il personale di servizio;
- Il personale degli uffici;
- Le persone che occupano il salone concerti.

Una volta individuati questi macro gruppi di persone, si è cercato di individuare il numero massimo di persone presenti negli ambienti. Seguendo la UNI/TS 11300-1, sono stati esclusi corridoi, locali di transito e servizi. Gli spazi dove si concentrano il maggior numero di persone sono le aule didattiche, gli uffici e il salone dei concerti.

Per quanto riguarda le aule, è stato ipotizzato:

- La presenza di un insegnante e uno studente nelle aule piccole;
- La presenza di un insegnante e tra 2 e 4 studenti nelle aule medie;
- La presenza di un insegnante e tra 10 e 16 studenti nelle aule provviste di banchi (utilizzati per ricavare tali numeri) in cui sono previste le lezioni teoriche a gruppi più grandi di studenti.

Per quanto riguarda gli uffici, è stata ipotizzata la presenza di:

- Una persona per ogni ufficio di piccola grandezza;

- 3 persone nell'ufficio del direttore, più grande rispetto agli altri;
- 18 persone nella sala riunioni, contando i posti disponibili del tavolo;
- 8 persone nella sala insegnanti, contando i posti disponibili del tavolo.

In ultimo, il personale di servizio è stato conteggiato con 2 presenze negli spazi di accoglienza al piano terra primo e secondo.

Per quanto riguarda il salone concerti, è stato conteggiato il numero massimo di persone sommando i posti disponibili tra platea e galleria, aggiungendo un numero di venti presenze sul palco, per un totale di 1020 presenze massime.

5.13 DEFINIZIONE DEI PROFILI TEMPORALI: LE SCHEDULES

Le *schedules* sono le regole in base alle quali viene determinata la modalità e il tempo di utilizzo di:

- Finestre;
- Sistemi di oscuramento;
- Luci;
- Apparecchiature;
- Oltre al tempo di occupazione degli ambienti da parte degli utenti.

Grazie ad esse è possibile determinare il periodo di tempo specifico di utilizzo/occupazione nell'arco della giornata, su base settimanale, nonché di periodi più lunghi di tempo nel corso dell'anno, stabilendo delle regole.

L'occupante utilizza gli apparecchi o interviene sull'apertura delle finestre in base alle sue abitudini ed esigenze; queste, cambiando da persona a persona, impediscono di stabilire un modello standard [2]. Dunque le *schedules* costituiscono un tentativo nel descrivere il modo in cui l'occupante interagisce con alcuni elementi che fanno parte dell'edificio, tuttavia, come già argomentato nella prima parte della tesi, questi profili temporali descrivono degli eventi in modo deterministico, ovvero che si ripete sempre uguale nel tempo, senza quindi tenere conto dell'aleatorietà intrinseca dell'atteggiamento umano. Per la costruzione di questo tipo di modelli vengono dunque utilizzati dei dati statistici che si trovano perlopiù in letteratura e provengono da studi condotti da Università o Enti di Ricerca [2]. Tuttavia, la maggior parte dei riferimenti in letteratura riguarda dati relativi a realtà domestiche/residenziali, realtà in cui gli occupanti hanno esigenze ed atteggiamenti differenti nei confronti di determinati elementi presenti all'interno dell'edificio.

Infatti, spesso accade che all'interno di edifici pubblici l'azione degli utenti nei confronti di certi elementi (come ad esempio le finestre) sia limitato, se non addirittura vietato, senza trascurare il fatto che la spinta ad agire sia altamente influenzata solo per il fatto che l'edificio non è un bene proprio.

Per questi motivi la creazione delle *schedules* ha parzialmente previsto una ricerca bibliografica con l'adozione di semplificazioni e ipotesi laddove vi era una carenza di dati specifici e reali in merito. Prima di procedere con la definizione delle *schedules*, è stato creato un profilo relativo ai giorni di completa chiusura dell'edificio, ovvero i giorni di vacanza dati dalle principali festività nazionali e dalla chiusura del periodo estivo, relativa al mese di agosto. Ciò è stato possibile nella sezione *Holidays* del programma IDA-ICE.

5.13.1 SCHEDULE FINESTRE ED ELEMENTI OSCURANTI

Per quanto riguarda i dati sull'utilizzo delle finestre è stato necessario dividere i dati da inputare 1) per il modello con dati standard per la verifica del dimensionamento HVAC; 2) per il modello con dati reali per la verifica dei consumi.

Nel primo caso, non è stata fatta alcuna distinzione sull'utilizzo delle finestre e si è optato per una *schedule* unica per la quale, in seguito ad una ricerca bibliografica, si è deciso di optare per dei valori definiti dall'IBN (*Institut Für Baubiologie*) [69] che suggerisce come valori di ventilazione naturale 4-6 minuti di apertura delle finestre in inverno e 25-30 in estate. La *schedule* creata prevede quindi l'apertura delle finestre per sei minuti a partire dalle ore 15:00 in inverno e per 30 minuti totali nel periodo estivo divisi in due momenti della giornata (per 15 minuti dalle 10:45 alle 11 e dalle 16:45 alle 17).

Per la regolazione dei sistemi oscuranti si è optato per una *schedule* che prevede le tapparelle chiuse durante il giorno, ed aperte (abbassate) durante la notte, facendo riferimento per gli orari all'apertura/chiusura del Conservatorio, per tutto l'anno.

Nel secondo caso, invece, è stato opportuno trattare le aperture/chiusure delle finestre a seconda dell'ambiente in cui si trovano; in particolare, è stata fatta la seguente suddivisione:

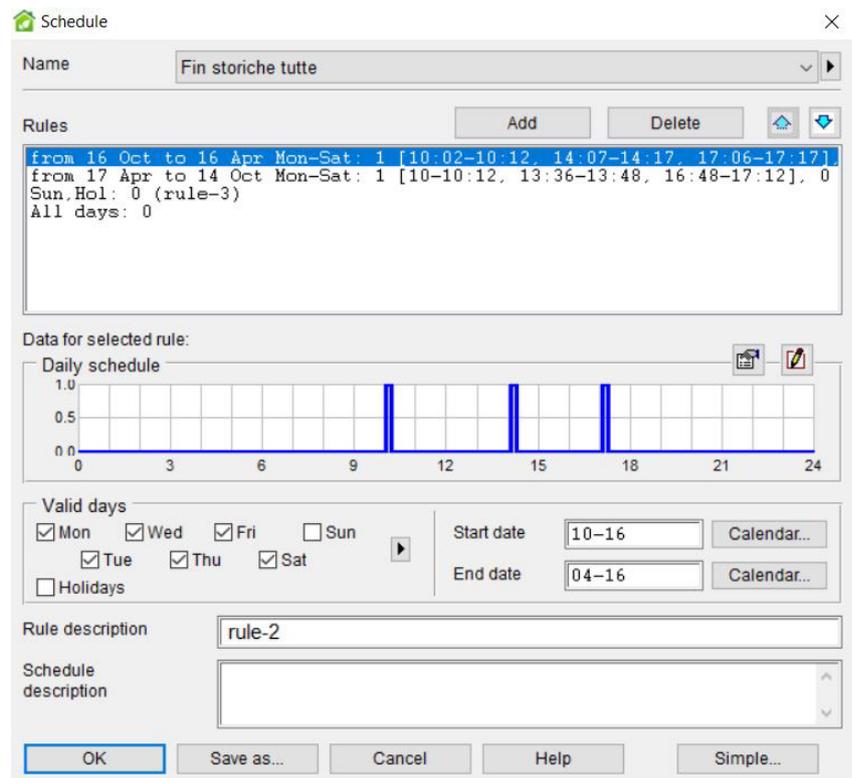
- Finestre delle aule didattiche;
- Finestre degli uffici;
- Tutte le altre finestre.

Le regole di gestione del conservatorio prevedono, ad oggi, la totale e permanente chiusura delle finestre delle aule didattiche riqualificate, ciò in principio del fatto che nelle suddette aule è in azione la ventilazione meccanica controllata che, in linea teorica, dovrebbe compiere il ricircolo dell'aria viziata e mantenere i giusti

requisiti di *comfort*, motivo per cui non avrebbe senso aprire le finestre; tuttavia la ripresa dell'aria non è in funzione e viene effettuata solo la mandata dell'aria, facendo espellere l'aria viziata tramite l'apertura delle porte. A causa di ciò sono stati riscontrati evidenti problemi a livello di qualità dell'aria, in particolare nelle aule del piano ammezzato.

Per i motivi finora descritti, la *schedule* creata per le finestre delle aule prevede una chiusura costante, per tutti i giorni della settimana. Di conseguenza, la *schedule* delle tapparelle prevede che esse non siano mai abbassate, anche di notte.

Figura 41. Schedule impostata per l'apertura/chiusura delle finestre storiche negli uffici.



Per quanto riguarda gli uffici, si è tenuto conto di dati di utilizzo reali raccolti tramite *survey* [48] in cui viene riportato che il personale che occupa gli uffici è solito aprire/chudere le finestre due o più volte al giorno nel periodo estivo, senza specificare per quanto tempo. Pertanto la *schedule* associata alle finestre degli uffici è la seguente: apertura per tre volte al giorno nel periodo invernale per un totale di 20 minuti al giorno (10-10:10, 14-14:10, 17-17:10) e apertura per tre volte al giorno nel periodo estivo per un totale di un'ora al giorno (10-10:15, 14-14:15, 17-17:30) (figura 41).

Per i sistemi oscuranti, invece, l'indagine riporta che gli utenti utilizzano scarsamente i dispositivi oscuranti per regolare il proprio *comfort* nel caso di temperatura troppo alta nel periodo estivo [48]. Per questo motivo si è deciso di optare per la *schedule* dei dati "standard", quindi tapparelle chiuse durante il giorno, ed aperte (abbassate) durante la notte.

Per tutte le altre finestre e sistemi oscuranti del Conservatorio, non avendo dati relativi all'utilizzo reale è stato fatto riferimento ai dati "standard" ovvero quelli da ricerca bibliografica [69].

Le regole sopra esposte valgono per tutti i giorni della settimana ad esclusione della domenica e dei periodi di vacanza (giorni in cui il conservatorio rimane chiuso e le finestre non vengono mai aperte).

5.13.2 SCHEDULE OCCUPANTI

Per la definizione dei profili temporali di occupazione degli ambienti, le utenze presenti nel conservatorio sono state così definite:

- Gli studenti;
- Gli insegnanti;
- Il personale di servizio;
- Il personale degli uffici;
- Le persone che occupano il salone concerti.

Tutti i profili temporali creati per queste tipologie di utenze prevedono la presenza degli occupanti dal lunedì al sabato, ad esclusione della domenica (e dei giorni di vacanza).

Per gli studenti del conservatorio, si è deciso di assumere come riferimento una presenza costante dalle 9:00 alle 19:30. Tuttavia, recentemente all'interno del conservatorio di musica è stato dato il permesso agli studenti di poter utilizzare le aule del secondo piano nei giorni di lunedì, mercoledì e giovedì fino alle 22:00 per studiare e fare delle prove. All'interno del programma, il valore 1 corrisponde alla presenza dell'occupante mentre il valore 0 all'assenza. E' comunque possibile inserire dei valori compresi tra 0 e 1 quando la presenza non fa riferimento al numero totale del gruppo di occupanti.

In totale sono stati creati tre profili:

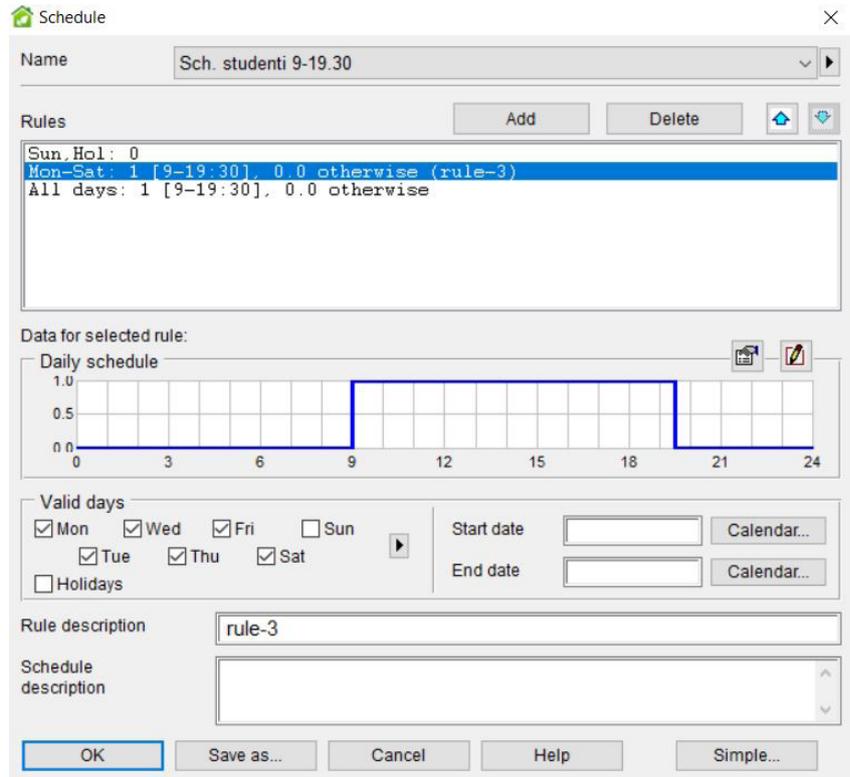
- Il primo riguarda la massima presenza degli studenti nelle aule di piccole dimensioni (in cui vengono svolte le lezioni frontali) di piano terra, ammezzato e primo, negli orari dalle 9:00 alle 19:30 (figura 42);
- Il secondo riguarda una presenza al 50% degli studenti, nelle aule più grandi in cui si svolgono le lezioni teoriche, sempre al piano terra, ammezzato e primo, negli orari dalle 9:00 alle 19:30;
- Il terzo riguarda la massima presenza degli studenti delle aule del secondo piano (che nelle ore serali vengono utilizzate per le prove individuali), dalle 9:00 alle 22:00.

Per gli insegnanti sono stati creati due profili temporali:

- Il primo prevede una presenza massima degli insegnanti in

- tutte le aule, dalle 9:00 alle 13 e dalle 14 alle 19:30;
- Il secondo prevede una presenza al 50% degli insegnanti nelle aule più grandi, dalle 9:00 alle 13 e dalle 14 alle 19:30.

Figura 42. Schedule impostata per l'occupazione degli studenti nelle aule.



Per quanto riguarda il personale degli uffici, le *schedules* create sono due:

- La prima riguarda la presenza massima del personale in tutti gli ambienti dalle 8:30 alle 12:30 e dalle 14:00 alle 18:00;
- La seconda invece prevede una presenza al 50% del personale negli ambienti più grandi, dalle 8:30 alle 12:30 e dalle 14:00 alle 18:00.

Per il personale di servizio è stato creato un unico profilo temporale, che prevede la presenza massima dalle 7:30 alle 20:45.

Infine, per il salone dei concerti sono stati creati due profili temporali, per due diverse tipologie di utenze:

- La prima riguarda l'occupazione del salone da parte di studenti e insegnanti per le prove, per cui si è ipotizzata una presenza massima di 10 persone e a cui è stata associata una schedule che prevede la presenza al 50% degli occupanti, dalle 9:00 alle 12:30 e dalle 14:30 alle 19:30, ad esclusione del mercoledì, in cui l'orario pomeridiano termina alle 17:30.
- La seconda *schedule* riguarda l'occupazione del salone durante degli eventi specifici che si ripetono settimanalmente, ovvero il mercoledì per le attività che coinvolgono coro e orchestra

ed il venerdì per i concerti. Nonostante la capienza massima del salone dei concerti si aggiri intorno alle 1000 sedute, nelle serate dei concerti in cui vi è la massima affluenza di persone nel salone, essa comunque non supera 400 presenze. Per questo motivo, è stato creato un profilo di occupazione di 400 utenti per cui durante il mercoledì dalle 17:30 alle 18:30 è prevista un'affluenza del 20%, mentre il venerdì dalle 21:00 alle 23:00 è prevista un'affluenza massima. Tutte le serate terminano a fine giugno per riprendere a fine settembre.

5.13.3 SCHEDULE ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

Per la determinazione dei profili temporali di accensione/spegnimento delle luci, si è fatto riferimento ai periodi di occupazione degli ambienti, benché il fatto che un ambiente risulti occupato non presuppone necessariamente che le luci siano accese.

Gli ambienti per i quali sono state definite le *schedules* d'illuminazione artificiale sono:

- Le aule didattiche riqualificate;
- Gli uffici;
- Il salone concerti;
- Gli spazi di pregio e i locali di servizio.

Nel programma, il valore 1 corrisponde all'accensione della luce mentre il valore 0 al suo spegnimento; tuttavia, è possibile definire dei valori compresi tra 0 e 1; ciò significa che la luce (o l'apparecchio elettrico) in questione è accesa ma lavora con valori di potenza minori rispetto a quello massimo [2].

Per quanto riguarda le luci delle aule, sono state create due *schedules*: la prima con un periodo di accensione dalle 9:00 alle 19:30 per tutti i giorni della settimana e la seconda solo per le aule del secondo piano, con periodo di accensione dalle 9:00 alle 19:30 il martedì, venerdì e sabato e dalle 09:00 alle 22:00 il lunedì, mercoledì e giovedì.

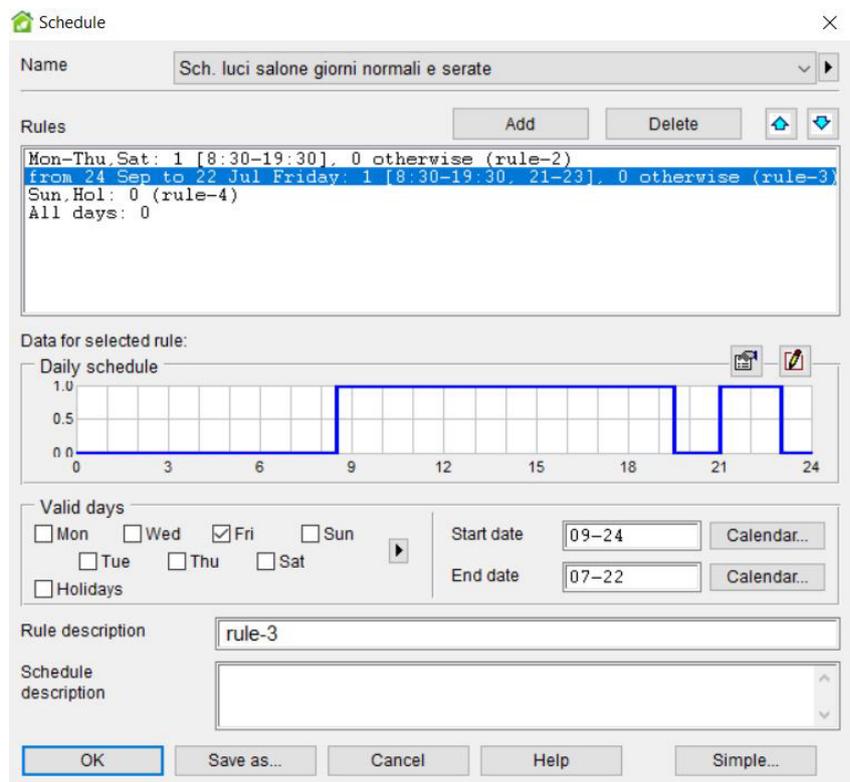
Per le luci degli uffici, dei locali di servizio ed i locali aulici il profilo temporale è il medesimo di quello di occupazione degli ambienti.

Infine, per il salone dei concerti, sono state create due *schedules*:

- La prima riguarda le luci che illuminano il palco; esse sono accese tutti i giorni dalle 9.00 alle 19.30 per le prove degli studenti ed il venerdì durante le serate, dalle 20:45 alle 23:30 (figura 43).
- La seconda è associata alle luci che illuminano platea e galleria e le luci dall'alto della volta. Esse sono accese durante la serata del venerdì, prima e dopo l'evento con una pausa a metà, ovvero dalle 20:30 alle 21:15, dalle 22 alle 22:15 e dalle 23:15 alle

23:30 ed infine il mercoledì dalle 17 alle 17:30 e dalle 18.30 alle 19.

Figura 43. Schedule impostata per l'accensione/spegnimento delle luci del palco del salone dei concerti.



5.13.4 SCHEDULE APPARECCHI ELETTRICI

Per quanto riguarda l'utilizzo degli apparecchi elettrici, si è cercato di incrociare i dati dei riferimenti bibliografici con quelli derivati da ipotesi ragionevoli a seguito dell'osservazione diretta.

Per la *schedule* dei PC fissi, è stato ipotizzato un utilizzo costante dalle 8:30 alle 18:00, (ovvero il periodo di tempo in cui gli uffici sono occupati) con un valore massimo di 0,75 anziché 1: questo per non "sovradimensionare" i profili, poiché i PC potrebbero essere accesi dal momento in cui il lavoratore arriva nel suo ufficio fino a quando non lo lascia, tuttavia non è scontato che esso venga utilizzato a pieno regime per tutto il tempo.

Per la *schedule* della stampante si è ricorso ad un riferimento bibliografico [2] per cui essa viene utilizzata due volte a settimana, per due volte al giorno (una al mattino e una al pomeriggio) per un totale di 21 minuti al giorno, con il valore di massima potenza.

La fotocopiatrice, invece, al contrario della stampante viene utilizzata con maggior frequenza, pertanto, essa è in funzione dalle 8:30 alle 18 tutti i giorni con un valore di 0,75.

Nel conservatorio di musica sono presenti anche delle TV, per le quali non è stato possibile cercare di capire attraverso l'osservazione diretta il loro effettivo utilizzo, per questo motivo il profilo è impostato sempre spento.

Infine, il profilo temporale del deumidificatore puntuale presente nell'aula degli strumenti antichi prevede il suo funzionamento per tutto il giorno, quindi dalle 7:30 alle 20:45.

5.14 CALCOLO DEGLI IDEAL LOADS

Una volta inputati i parametri finora trattati, (ovvero i dati relativi al clima e la posizione dell'edificio, la sua geometria, gli elementi di involucro opaco e trasparente, la caratterizzazione dei ponti termici e le dispersioni con il terreno ed infine gli elementi riguardanti la ventilazione, gli apporti termici ed i profili temporali di utilizzo e occupazione), si è in possesso di un modello interamente definito in ogni suo aspetto, ad esclusione degli impianti. Infatti, benché siano già state definite le zone termiche, in ogni ambiente compaiono degli elementi denominati *Ideal heater* e *Ideal cooler*. Tali elementi non possiedono una localizzazione fisica all'interno dell'ambiente e non sono connessi al sistema di generazione dell'edificio; questi *ideal room units* sono dei terminali ideali che servono per effettuare la simulazione in *ideal loads*, ovvero per calcolare i carichi termici e per capire il fabbisogno termico "ideale" dell'edificio quando, per esempio, non si è in possesso di informazioni dettagliate.

Dunque sono stati definiti i valori di *setpoint* dalla finestra *controller setpoints* del *software*, a seconda della destinazione d'uso (aule riqualificate, salone concerti, uffici, locali di servizio) per riscaldamento e raffrescamento, le portate d'aria da ventilazione meccanica, l'umidità relativa, i livelli di CO₂, e l'illuminamento, inputando valori da normativa (tabelle 4, 5, 6, 7).

A questo punto nella sezione *Simulation* è possibile effettuare una simulazione per verificare l'*heating load* ed il *cooling load*. Pertanto, i risultati dei carichi termici sono:

- 362 kW per riscaldamento;
- 164 kW per raffrescamento.

Tali numeri generati dal programma sono in contrasto con la realtà in quanto le potenze installate per sopperire al fabbisogno termico di riscaldamento e raffrescamento sono più alte; ciò significa che con ogni probabilità gli impianti sono sovradimensionati.

La fase successiva del lavoro riguarderà la modellazione degli impianti ed il loro reale utilizzo in modo tale da verificare l'impatto che essi hanno sui consumi dell'edificio stesso.



362 kW

Carico termico per
riscaldamento



164 kW

Carico termico per
raffrescamento

Tabelle 4, 5, 6, 7. Nelle seguenti tabelle sono stati impostati i parametri di zona in base alla destinazione d'uso, per successivamente effettuare una simulazione in "ideal load". Le temperature di setpoint e i ricambi d'aria sono stati definiti in base alla UNI EN 15251:2008 mentre i parametri di illuminamento in base alla UNI EN 12464-1:2011.

Locali di servizio		
	Min	Max
Temperature (heating/cooling set point) (°C)	21	26
Mech. supply air flow (l/s/mq)	/	/
Mech. return air flow (l/s/mq)	/	/
Relative humidity (%)	20	80
Level of CO ₂ ppm (vol)	500	1500
Daylight at workplace (lux)	100	10000
Pressure diff. Envelope (Pa)	default	default

Uffici		
	Min	Max
Temperature (heating/cooling set point) (°C)	21	25
Mech. supply air flow (l/s/mq)	/	/
Mech. return air flow (l/s/mq)	/	/
Relative humidity (%)	20	80
Level of CO ₂ ppm (vol)	500	1500
Daylight at workplace (lux)	100	10000
Pressure diff. Envelope (Pa)	default	default

Aule		
Ventilation system	VAV, humidity control	
	Min	Max
Temperature (heating/cooling set point) (°C)	21	25
Mech. supply air flow (l/s/mq)	autosize	autosize
Mech. return air flow (l/s/mq)	0,3	3,8
Relative humidity (%)	50	50
Level of CO ₂ ppm (vol)	500	1500
Daylight at workplace (lux)	300	10000
Pressure diff. Envelope (Pa)	default	default

Salone dei concerti		
Ventilation system	VAV, temperature control	
	Min	Max
Temperature (heating/cooling set point) (°C)	21	25
Mech. supply air flow (l/s/mq)	autosize	autosize
Mech. return air flow (l/s/mq)	0,3	10,8
Relative humidity (%)	40	50
Level of CO ₂ ppm (vol)	800	1500
Daylight at workplace (lux)	200	10000
Pressure diff. Envelope (Pa)	default	default

5.15 DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI E MODELLAZIONE NEL SOFTWARE

5.15.1 TIPOLOGIE DEI SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE PRESENTI NEL CONSERVATORIO



Figura 44. Fan coil nell'aula 4 al piano terra.



Figura 45. Pannelli radianti modulari a soffitto nell'aula 18 al piano secondo.



Figura 46. Radiatore nel foyer al piano terra.

Come precedentemente anticipato, il Conservatorio di musica ha subito un intervento di riqualificazione nel 2015 che ha previsto il rifacimento di alcuni sistemi impiantistici.

L'edificio possiede al suo interno diversi ambienti con specifiche destinazioni d'uso, che richiedono un controllo differenziato delle condizioni di benessere termo-igrometrico. Per questo motivo si procederà con la descrizione degli impianti in base alla destinazione d'uso degli ambienti.

Aule didattiche riqualificate.

Le aule didattiche sono state oggetto di riqualificazione nel 2015, per le quali è stato effettuato l'isolamento su lato interno delle pareti perimetrali, sono stati aggiunti nuovi serramenti sempre verso l'interno, la sostituzione degli impianti termici (con l'inserimento di un sistema di ventilazione meccanica e del sistema di raffrescamento prima assenti) ed il miglioramento delle *performance* acustiche.

Il sistema di climatizzazione delle aule è di tipo misto aria-acqua, ovvero vi è un impianto ad aria primaria (provvisto di unità di trattamento aria e diffusori in ambiente) a portata variabile, per fornire l'aria di rinnovo e controllare la qualità e l'umidità dell'aria, mentre i carichi termici sono gestiti mediante terminali idronici posti in ambiente. In particolare, i terminali alimentati ad acqua che troviamo nelle aule sono:

- Al piano terra i ventilconvettori (*fan coil*), dove è possibile regolare temperatura e velocità dell'aria direttamente sul terminale (figura 44);
- Ai piani ammezzato, primo e secondo i pannelli radianti a soffitto disposti in moduli alternati da pannelli attivi e altri componenti impiantistici (apparecchi d'illuminazione, diffusori d'aria) pari a 0,6 x 0,6 m (figura 45).

Salone concerti.

Il Salone dei Concerti è provvisto di impianto a tutt'aria a portata variabile, per cui i carichi termici ed il controllo della qualità dell'aria sono gestiti mediante la diffusione negli ambienti di aria adeguatamente trattata.

Spazi aulici e di servizio.

Sia gli ambienti di servizio che gli spazi sottoposti a vincolo possiedono un sistema di riscaldamento con terminali ad alta temperatura, ovvero radiatori con termovalvole (figura 46). In questi ambienti non è presente alcun sistema per il raffrescamento.



Figura 47. Split nell'ufficio 1 al piano primo.

Uffici.

Gli uffici possiedono anch'essi un sistema di riscaldamento con radiatori, tuttavia vi è anche un impianto per il raffrescamento tramite *multisplit* (figura 47) che prevede due unità esterne, ciascuna delle quali è collegata a quattro unità interne.

5.15.2 SISTEMA DI GENERAZIONE

Per comprendere lo stato di fatto degli impianti del Conservatorio di musica, è stata condotta un'intervista al *building manager* del Conservatorio ed al tecnico esterno dell'Iren che si occupa della gestione e del controllo dei sistemi di generazione. Con quest'ultimo è stato possibile visitare gli spazi che ospitano gli impianti al piano seminterrato ed al secondo piano. In seguito a tale incontro sono stati forniti la relazione tecnica dei sistemi che servono il Salone ed i disegni del progetto degli impianti meccanici delle aule.

Unità di Trattamento Aria

Le unità di trattamento aria sono 4:

- Tre UTA poste al piano seminterrato per il Salone dei Concerti (figura 48);
- Una UTA posta all'esterno al secondo piano, tra l'aula 13 e il vano scala e serve per la sola ventilazione meccanica delle aule didattiche (figura 49).



Figura 48. Condotti delle UTA del Salone al piano interrato.

Le tre UTA del Salone servono:

- 1) La zona palco (con portata d'aria in mandata di 2500 mc/h);
- 2) La zona platea (con portata d'aria in mandata di 12000 mc/h);
- 3) La zona galleria (con portata d'aria in mandata di 12000 mc/h).

Queste centrali di trattamento aria, come descritto nella relazione tecnica, sono dotate di:

- Ventilatori gestiti da inverter in modo da poter seguire agevolmente le variazioni di carico dovute alle diverse condizioni di affollamento della sala;
- Sezione di umidificazione a vapore a resistenze elettriche;
- Recuperatore di calore sull'aria in espulsione in quanto le portate in gioco sono rilevanti e ciò costituisce un ruolo importante nel contenimento dei consumi energetici e quindi dei costi gestionali dello stabile.

Le canalizzazioni di mandata, di ripresa e di presa aria esterna per la distribuzione ed il rinnovo dell'aria nei diversi ambienti sono dotate di:

- Serrande di regolazione della portata sulle canalizzazioni di mandata e di ripresa;
- Batterie di post-riscaldamento sulle mandate se non presenti all'interno della UTA.

Infine, l'aria trattata viene immessa all'interno della sala in parte attraverso diffusori ad effetto elicoidale installati a soffitto della platea in corrispondenza della soletta di sostegno della galleria. Il resto, vista l'elevata portata di aria in gioco e la notevole distanza tra i punti di immissione e le zone occupate dal pubblico e dal personale di scena, la gran parte dell'aria trattata viene immessa nella sala attraverso ugelli per lunghe gittate orientabili e motorizzati in modo da potersi adattare automaticamente alle variazioni del carico ed alla commutazione stagionale estate/inverno.

Per garantire una buona ventilazione su tutta l'area interessata i 30 ugelli sono installati in diverse zone della sala:

- 16 all'interno dei balconcini esistenti ai lati del palco protetti con un finto serramento;
- 8 alle spalle della galleria in corrispondenza dei cavedi verticali;
- 6 sulle pareti laterali del palcoscenico.

Infine, vi sono 4 sonde in ambiente che rilevano le proprietà dell'aria in modo tale che se non dovessero essere soddisfatti i requisiti di *comfort*, è possibile apportare modifiche a livello di setpoint.

Queste tre UTA sono telegestite per quanto riguarda le temperature di setpoint e gli orari funzionamento; l'impianto ha funzionamento continuo dalle 06:00 alle 19:00 tutti i giorni salvo prolungamento fino alle 24 per gli eventi serali. E' prevista una riduzione notturna della velocità dei ventilatori.

Gli orari di accensione della centrale termica e del gruppo frigo seguono le UTA della sala concerti.



Figura 49. UTA per la ventilazione meccanica delle aule posta al secondo piano, tra l'aula 13 e il vano ascensore.

L'UTA delle aule didattiche si compone di:

- Una sezione ventilante di mandata (6000 mc/h) e di ripresa (5800 mc/h) con motore a 4 poli e ventilatore a pale rovesce a doppia aspirazione;
- Un recuperatore statico a flussi incrociati;
- Una batteria di pre-riscaldamento con potenza di 50 kW con acqua calda in ingresso/uscita a 70/60°C ed aria in ingresso/uscita a -8/20°C;
- Una batteria di raffreddamento e deumidificazione con potenza di 60 kW, acqua refrigerata in ingresso/uscita a 7/12°C ed aria in ingresso/uscita a 35/13°C e umidità relativa in ingresso/uscita a 55/95%;
- Una batteria di post-riscaldamento con potenza di 19kW con acqua calda in ingresso/uscita a 70/60°C ed aria in ingresso/uscita a 15/30°C;
- Una sezione di umidificazione con distributore di vapore in acciaio inox e separatore di gocce in alluminio a tre pieghe.

Dalla UTA, l'aria viene inviata ai terminali di immissione negli ambienti che richiedono la ventilazione tramite canali. Le unità terminali di immissione ed estrazione (bocchette e griglie di estra-

zione) sono integrati nel sistema di controsoffittatura delle aule. E' da precisare che, nonostante il sistema sia dotato di ripresa d'aria in ambiente, essa non è funzionante, pertanto l'aria trattata viene immessa in ambiente e l'aria esausta viene smaltita con l'apertura delle porte delle aule. Ciò suscita uno stato di *discomfort* nelle persone che frequentano le aule in quanto non funzionando la ventilazione meccanica come da progetto, la qualità dell'aria potrebbe non rientrare nei valori ottimali.

Questa UTA (ed in generale tutta la parte nuova che riguarda le aule) non è telegestita.

Centrale termica e gruppo frigorifero



Figura 50. Le due caldaie nella centrale termica.

Sia la centrale termica che il locale frigo sono situati al piano seminterrato.

All'interno della centrale termica si trovano due caldaie a condensazione alimentate a gas metano che funzionano in cascata (figura 50). Le due caldaie possiedono una potenza massima al focolare di 575 e 460 kW e rendimento pari a 0,975 la prima e 0,91 la seconda.

Dalle due caldaie partono i seguenti circuiti:

- Mandata e ritorno verso le batterie di pre e post riscaldamento delle quattro UTA;
- Mandata e ritorno che serve i terminali ad alta temperatura (parte vecchia) e i terminali delle aule (parte nuova).

Vi sono inoltre un collettore per la parte vecchia (verso i radiatori, solo acqua calda) ed uno per la parte nuova (verso le aule, acqua calda e fredda) dai quali partono:

- Quattro circuiti verso i radiatori che lavorano in curva climatica, ovvero la temperatura di mandata è inversamente proporzionale alla temperatura esterna; più fa freddo fuori, più la temperatura di mandata è alta (t° mandata=35°C se t° esterna arriva fino a 16°C; t° mandata=75°C se t° esterna arriva fino a -10°C);
- Due circuiti per gli uffici e per i 4 fan coil nell'ingresso aulico del piano terra;
- Due circuiti per le aule.

Il gruppo frigorifero si compone di un refrigeratore d'acqua condensato ad acqua con 4 compressori ermetici scroll a recupero parziale di calore (è presente un desurriscaldatore). Possiede una potenza frigorifera nominale di 379,3 kW, una portata di acqua refrigerata di 65,20 mc/h ed un coefficiente di prestazione pari a 4. Le temperature dei fluidi termovettori sono:

- Acqua calda: 70-55°C;
- Acqua refrigerata: 7-12°C

La centrale termica e frigorifera rimangono accese tutto l'anno,

anche le caldaie, perché servono al post-riscaldamento delle UTA nel raffrescamento estivo.

5.15.3 MODELLAZIONE DEGLI IMPIANTI NEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Un aspetto che mostra delle criticità quando si tratta di simulazioni energetiche e che comporta alcune difficoltà in fase di modellazione è la rappresentazione reale dei sistemi meccanici dell'edificio. Questa fase della modellazione è fondamentale poiché sarebbe opportuno modellare e simulare nel modo più appropriato gli impianti degli edifici (che sono responsabili di più del 40% dei consumi totali di energia e delle emissioni di gas serra), dal momento che i requisiti di energia per gli impianti installati colpiscono i costi operativi dell'edificio, oltre l'ambiente che lo circonda [45]. Modellare gli impianti del Conservatorio esattamente come sono strutturati nella realtà è piuttosto complesso, anche in ragione del fatto che all'interno del *software* di simulazione IDA-ICE vi è la presenza di alcuni impianti predefiniti, ma questi non rispecchiano esattamente la realtà. In virtù di tali limitazioni è stato inevitabile compiere delle semplificazioni ed adeguamenti per poter rappresentare gli impianti nel modo più vicino possibile alla realtà.

Sistema di generazione

La parte relativa alla generazione si definisce all'interno della finestra *HVAC system* della sezione *General*. In questa finestra (figura 51) il programma fornisce di *default* una componente standard di *Plant*, ovvero una centrale termica da cui parte la rete idronica che alimenta le batterie delle UTA ed i terminali in zona, composta di un *boiler* (caldaia) ed un *chiller* (gruppo frigorifero). Queste componenti hanno di *default* una capacità illimitata, per i quali sono stati attribuiti i valori di potenza e di efficienza. La composizione di centrale termica fornita dal *software* prevede una sola caldaia, motivo per cui è stato necessario ridurre le caratteristiche delle due caldaie presenti nella realtà ad una sola; sono state sommate le potenze installate ed è stata fatta una media delle due efficienze. L'orario di funzionamento della centrale termica è continuo dalle 6 alle 22 tutti i giorni, ad esclusione dei giorni in cui vi sono degli eventi come i concerti per cui il funzionamento è prolungato fino alle 24. Il funzionamento notturno (*night setback*) è inputato pari a 15°C.

Per modellare le UTA del Conservatorio sono state scelte delle *standard Air Handling Unit* tra i vari *template* forniti dal *software*. Anche per le centrali di trattamento dell'aria sono state eseguite alcune semplificazioni; in particolare, le tre UTA che servono il

salone concerti sono state ridotte ad un'unica UTA che possiede come caratteristiche principali la somma delle tre (figura 52). Inoltre sono state definite due *schedule*:

1) La prima relativa alla temperatura dell'aria di mandata, in modo tale da avere una differenziazione a livello stagionale: per il periodo invernale (15 ottobre – 15 aprile) la temperatura dell'aria è pari a 30°C mentre per la stagione estiva (15 aprile – 15 ottobre) è pari a 13°C;

2) La seconda riguarda l'orario di funzionamento che è continuo tutti i giorni dalle 6 alle 19, salvo prolungamento durante le serate fino alle 24, mentre per il periodo notturno questo sistema rimane spento.

Per l'UTA che serve le aule didattiche è stata attribuita la sola *schedule* relativa al funzionamento, che prevede un orario dalle 6 alle 22 tutti i giorni (figura 53). Per quanto riguarda le caratteristiche di immissione dell'aria di mandata, è stata selezionata la modalità *constant* con una temperatura di 20°C per tutto l'anno.

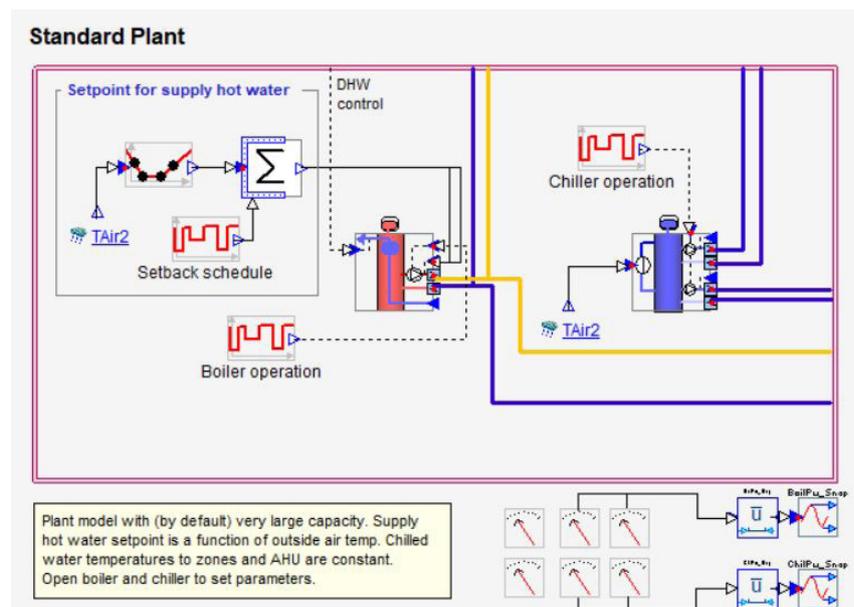


Figura 51. Finestra relativa al sistema di generazione del circuito acqua nel software IDA-ICE.

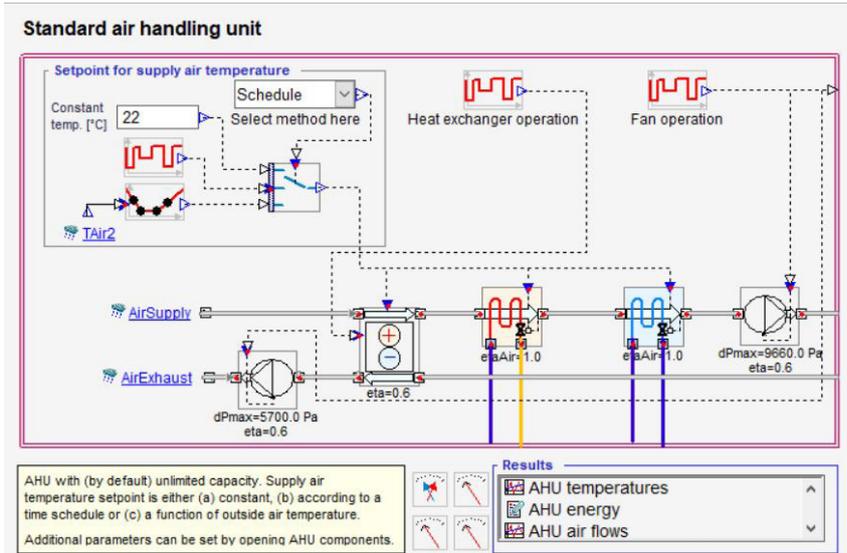


Figura 52. Finestra relativa al sistema di generazione del circuito aria (UTA Salone) nel software IDA-ICE.

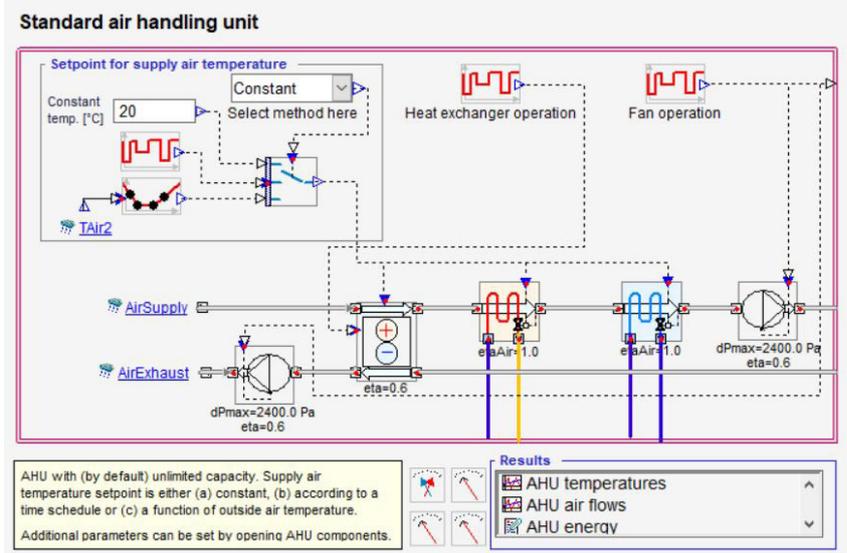


Figura 53. Finestra relativa al sistema di generazione del circuito aria (UTA aule) nel software IDA-ICE.

Terminali

In ogni ambiente è possibile sostituire gli *ideal heater/cooler* utilizzati nella fase di simulazione in *ideal loads* con i terminali presenti nella sezione *Palette*, in cui vi sono diversi tipi di oggetti cui è possibile attribuire le caratteristiche dei terminali reali. L'allegato D contiene le informazioni relative ai terminali delle aule (ricavate dai disegni del progetto di riqualificazione delle aule) e ai radiatori, per cui è stato necessario effettuare un dimensionamento.

Per i radiatori sono stati eliminati gli *ideal heater* nella sezione *room units* e sono stati trascinati gli oggetti *water radiator* direttamente sulla parete che nella realtà ospita un radiatore. Successivamente sono stati attribuiti i valori di potenza, le temperature dell'acqua in ingresso e in uscita e le caratteristiche geometriche.

I *fan coil* sono stati modellati con i *VAV heating/cooling fan coil* e sostituiti al posto degli *ideal heater/cooler*. Sono stati attribuiti i valori di potenza in caldo e in freddo, la portata dell'aria, le temperature dell'acqua in ingresso e in uscita dalle batterie ed una *schedule* di funzionamento.

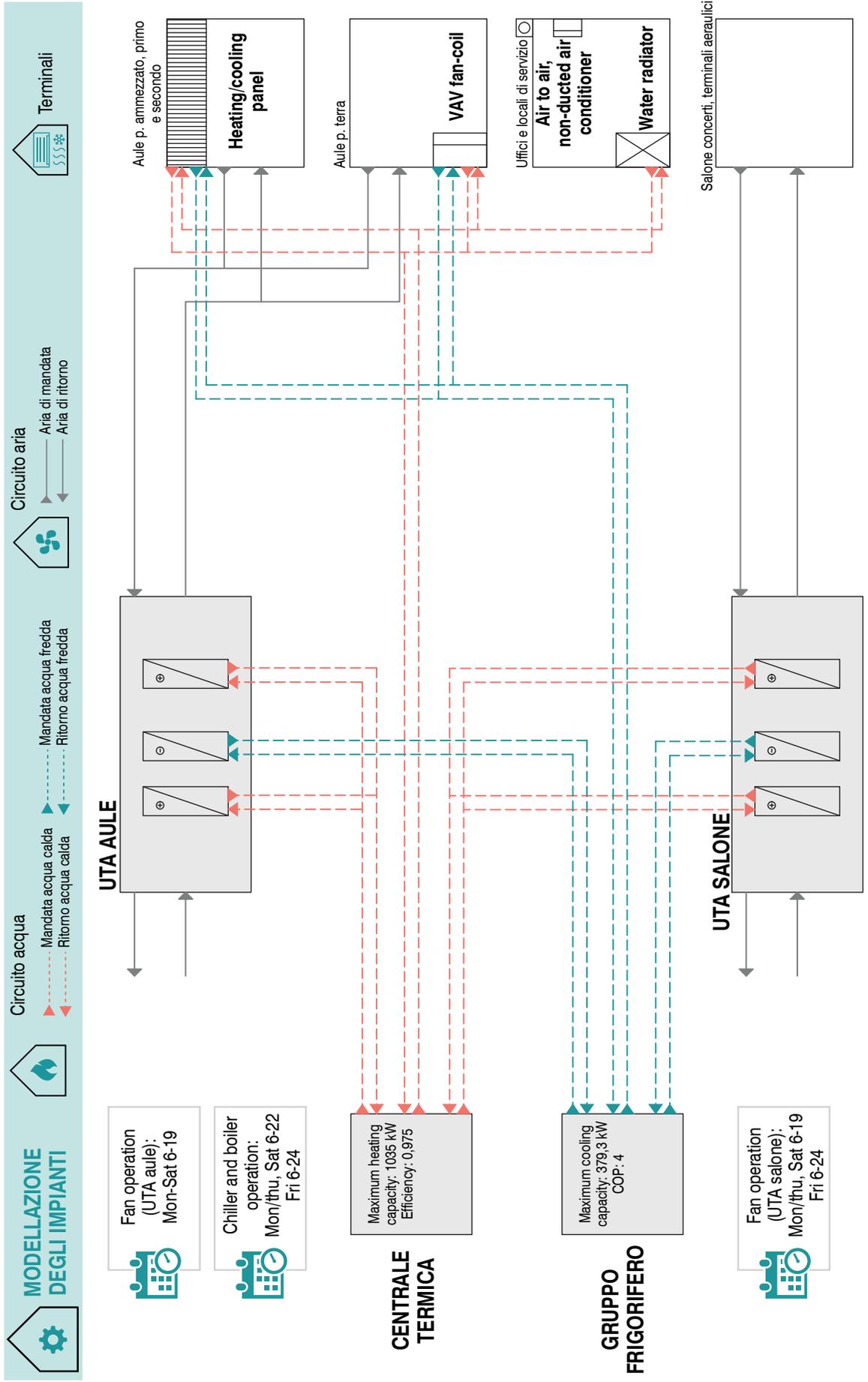
Sono stati scelti gli oggetti *heating/cooling panel* per i pannelli radianti a soffitto, per i quali sono stati definiti i valori di potenza in caldo e in freddo e la superficie operativa.

Per i *multi split* degli uffici sono stati utilizzati gli oggetti *air to air, non-ducted, air conditioner* ed è stata definita la potenza e il valore di efficienza (figure 54, 55).



Figure 54 e 55. Nella sezione *room units* presente in ogni ambiente è possibile modellare i terminali. Nelle figure viene mostrata la sostituzione degli *ideal room units* degli uffici con i terminali reali, ovvero i radiatori e gli split.

Figura 56. Nella pagina a fianco: schema degli impianti modellati nel software.



5.16 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE E CALIBRAZIONE

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 successivamente passare all'analisi dei risultati; questi infatti devono essere razionali e vicini alla realtà per poter determinare la validità e affidabilità del modello di simulazione e dunque poter continuare con la ricerca. Per fare ciò i risultati verranno confrontati con i consumi reali riportati dalle bollette delle utenze del Conservatorio di musica.

Scenario 1

Sono state condotte due simulazioni dinamiche, una per la stagione invernale ed una per quella estiva. Prima dell'esecuzione delle simulazioni sono stati definiti i *setpoint* come in tabella. Mentre tutti gli altri input sono stati lasciati come illustrato nella fase di costruzione del modello.

I consumi di gas simulati sono stati confrontati con quelli reali dell'anno 2018, poiché l'anno 2017 presentava delle anomalie di consumi in alcuni mesi invernali. Per quanto riguarda i consumi elettrici si è fatto riferimento all'anno 2017, anno posteriore ai lavori di riqualificazione ma immediatamente precedente all'implementazione delle strategie previste dal lavoro di Tesi di Dottorato di G. Spigliantini del Politecnico di Torino, svolte a partire dal 2018.

Tabelle 8, 9. Setpoint utilizzati per lo Scenario 1.

T° setpoint periodo invernale		
Ambienti	Min	Max
Aule e uffici	20°C	24°C
Tutti gli altri ambienti	22°C	24°C

T° setpoint periodo estivo		
Ambienti	Min	Max
Aule e uffici	23°C	28°C
Tutti gli altri ambienti	22°C	24°C

In questo scenario sono stati differenziati i *setpoint* a seconda dell'ambiente poiché:

- Nel salone concerti e nei locali di servizio gli utenti del conservatorio quali studenti, insegnanti e personale di servizio non hanno la possibilità di modificare il *setpoint* in ambiente, in quanto nel salone la temperatura è programmata tramite la telegestione delle UTA che climatizzano l'ambiente. Per questo motivo i *setpoint* sono quelli stabiliti dal *building manager*.
- Al contrario nelle aule c'è la possibilità che gli utenti modifichino la temperatura al piano terra direttamente sul terminale e nei piani ammezzato, primo e secondo tramite il termostato presente in ogni aula, entro dei limiti per i quali esso si resetta automaticamente. La stessa situazione si verifica negli uffici in cui gli utenti possono agire sulle termovalvole dei radiatori e impostando la temperatura di raffrescamento per il funzionamento dello *split*. Per questi motivi si è deciso di inserire un range più ampio in quanto è necessario tenere presente della variabilità dei *setpoint* di questi ambienti.

Tabella 10. Consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 1.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2018	kWh _t	kWh _t	%
1	56098	44217	-21
2	84751	33184	-61
3	46435	41453	-11
4	15140	20790	37
5	7793	4936	-37
6	7012	1077	-85
7	7245	64	-99
8	716	84	-88
9	0	1914	
10	19418	24582	27
11	50062	41488	-17
12	90805	37960	-58
TOT	385476	251749	-35

Figura 57. Confronto tra i consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 1.

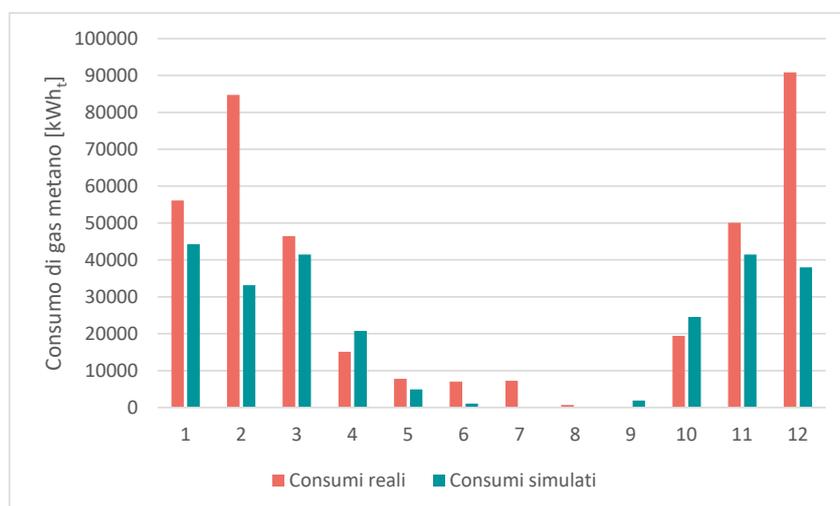
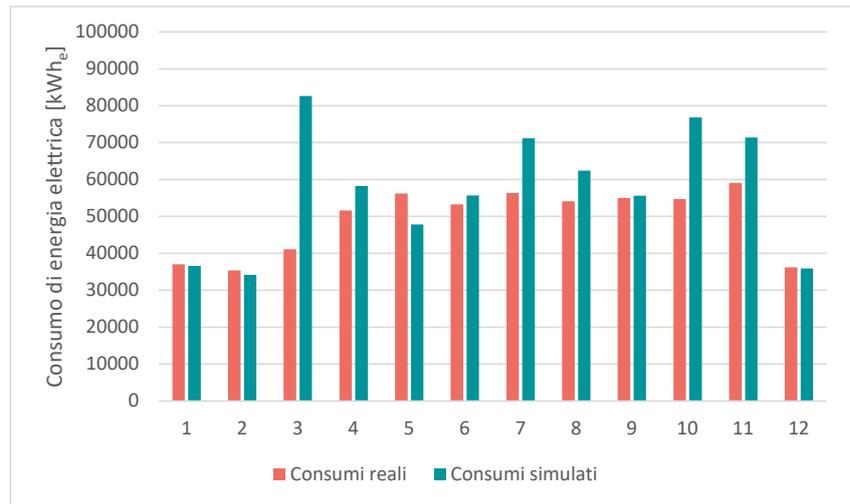


Tabella 11. Consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 1.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2017	KWh _e	KWh _e	(%)
1	37003	36585	-1
2	35412	34200	-3
3	41129	82654	101
4	51633	58259	13
5	56233	47815	-15
6	53265	55670	5
7	56363	71201	26
8	54100	62394	15
9	55019	55606	1
10	54730	76860	40
11	59092	71390	21
12	36177	35883	-1
TOT	590156	688517	17

Figura 58. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 1.



Come è possibile notare dai risultati della simulazione, lo scostamento percentuale indica che il divario tra i consumi reali e simulati è piuttosto alto, motivo per cui è necessario procedere con la calibrazione.

Scenario 2

In questo caso è stato simulato il periodo invernale restringendo il *range* tra temperatura minima e massima per far sì che il *setpoint* degli ambienti si avvicinasse il più possibile a 24°C. Tale scelta è stata presa per simulare uno scenario in cui gli utenti durante il periodo invernale conducano un comportamento poco attento al risparmio.

Tale scenario si è rivelato essere più vicino ai consumi reali rispetto allo scenario 1; ciò porta a pensare che in generale, le temperature di *setpoint* di tutto il Conservatorio siano in realtà ben più alte di quelle che sono state comunicate dal *building manager*.

Tabelle 12, 13. Setpoint utilizzati per lo Scenario 2.

T° setpoint periodo invernale		
Ambienti	Min	Max
Tutti gli ambienti	23,5°C	24,5°C

T° setpoint periodo estivo		
Ambienti	Min	Max
Aule e uffici	23°C	28°C
Tutti gli altri ambienti	22°C	24°C

Tabella 14. Consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 2.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2018	kWh _t	kWh _t	%
1	56098	54930	-2
2	84751	45560	-46
3	46435	55391	19
4	15140	23269	54
5	7793	4936	-37
6	7012	1077	-85
7	7245	64	-99
8	716	84	-88
9	0	1914	
10	19418	28430	46
11	50062	53384	7
12	90805	48574	-47
TOT	385476	317613	-18

Figura 59. Confronto tra i consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 2.

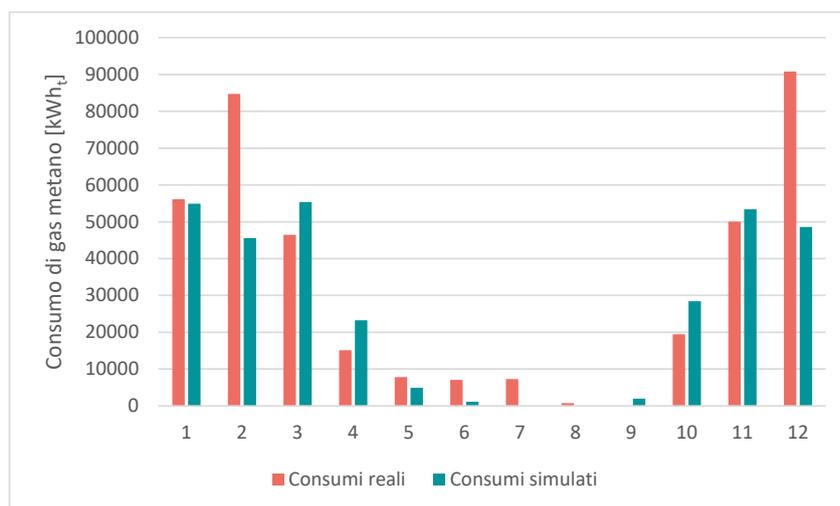
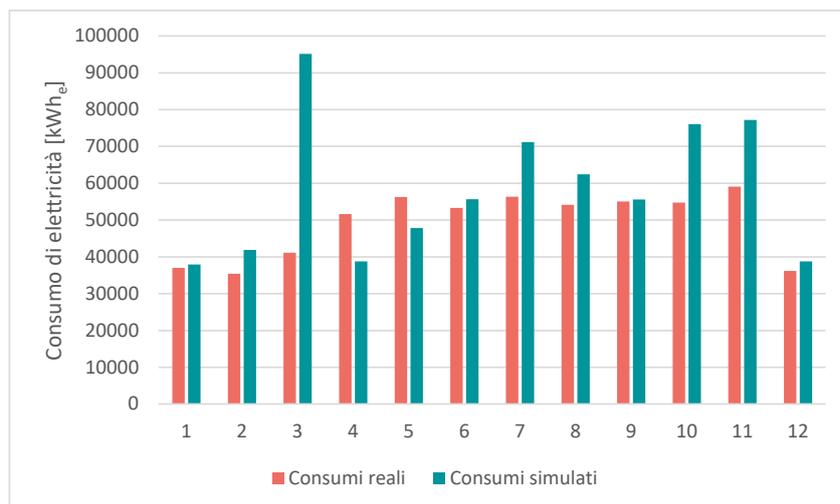


Tabella 15. Consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 2.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2017	KWh _e	KWh _e	(%)
1	37003	37912	2
2	35412	41876	18
3	41129	95152	131
4	51633	38794	-25
5	56233	47815	-15
6	53265	55670	5
7	56363	71201	26
8	54100	62394	15
9	55019	55606	1
10	54730	76076	39
11	59092	77186	31
12	36177	38760	7
TOT	590156	698443	18

Figura 60. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 2.



Vengono inoltre riportate le temperature medie mensili di quattro ambienti rappresentativi di quattro zone termiche climatizzate in modo differente tra loro. Sono confrontate le temperature medie mensili tra lo scenario 1 e 2. Dai grafici si evince che la temperatura media estiva rimane invariata in quanto il *setpoint* è il medesimo nei due scenari. Al contrario le temperature medie invernali dello scenario 2 sono più alte in quanto il *setpoint* impostato è 24°C.

Salone concerti		
Periodo	Scenario 1	Scenario 2
	T° media dell'aria (°C)	
1	22,1	23,6
2	22,1	23,8
3	24,2	25,3
4	23,8	24
5	23,8	23,8
6	24,7	24,7
7	25,5	25,5
8	26,2	26,2
9	24,6	24,6
10	24,4	24,7
11	23,8	24,7
12	22,1	23,6
T° media annuale	23,9	24,5

Tabella 16. Temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2.

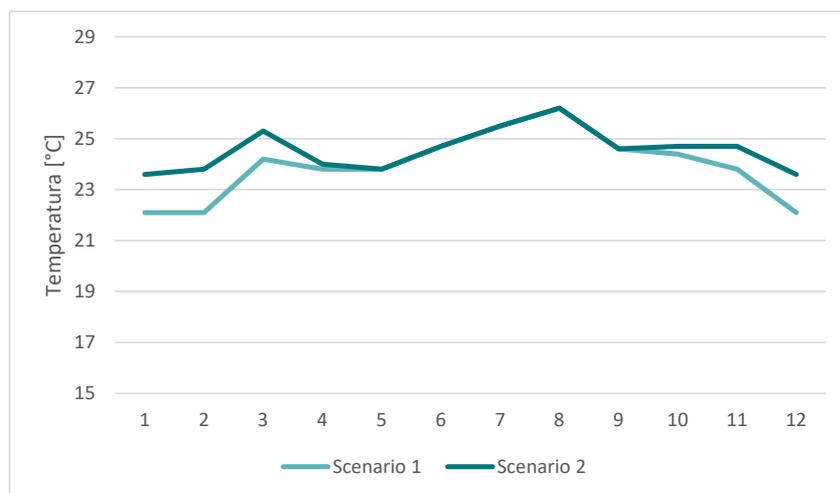


Figura 61. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2 nel Salone dei Concerti.

Aule 22-26, piano secondo		
Periodo	Scenario 1	Scenario 2
	T° media dell'aria (°C)	
1	20	22,8
2	20,5	23,4
3	21,1	23,6
4	22,9	24
5	24,4	24,4
6	25,7	25,7
7	27,6	27,6
8	28,3	28,3
9	26,2	26,2
10	22,7	24
11	21,2	23,5
12	20,5	23
T° media annuale	23,4	24,7

Tabella 17. Temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2.



Figura 62. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2 all'interno delle aule 22-26 site al secondo piano.

Uffici		
Periodo	Scenario 1	Scenario 2
	T° media dell'aria (°C)	
1	20,2	21,2
2	20,4	21,8
3	20,7	22,4
4	22,6	23,1
5	24,9	24,9
6	25,7	25,7
7	27,5	27,5
8	28	28
9	26,6	26,6
10	22,4	23,1
11	20,6	22,4
12	20,4	21,6
T° media annuale	23,3	24,0

Tabella 18. Temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2.

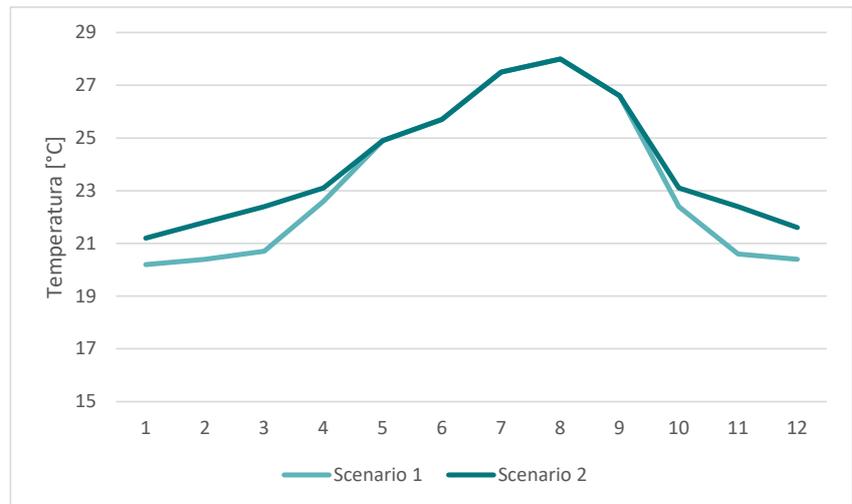


Figura 63. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2 negli uffici.

Foyer piano primo		
Periodo	Scenario 1	Scenario 2
	T° media dell'aria (°C)	
1	20,9	22
2	21,3	22,4
3	21,8	23
4	22	22,9
5	24,7	24,7
6	25,8	25,8
7	27,9	27,9
8	28,1	28,1
9	24,7	24,7
10	21,6	23,1
11	21,4	22,6
12	21,1	21,8
T° media annuale	23,4	24,1

Tabella 19. Temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2.



Figura 64. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 1 e 2 all'interno del Foyer al piano primo.

Scenario 3

In questo scenario è stata modificata l'efficienza della caldaia. Inizialmente era stata impostata mettendo l'efficienza più alta tra le due caldaie installate nella realtà, in questo caso invece è stata impostata l'efficienza più bassa (ovvero 0,91). Inoltre, anche le perdite di distribuzione sono state spostate dai valori *good* a *typical*. Così facendo, a parità di tutti gli altri parametri inputati, i consumi di gas si sono avvicinati maggiormente a quelli reali.

Ritenendo questo scenario sufficientemente vicino alla realtà, si è deciso di procedere ulteriormente con la calibrazione modificando solamente le impostazioni relative ai *setpoint* del periodo estivo per cercare di ridurre il *gap* tra i consumi elettrici reali e simulati.

Tabella 20. Setpoint utilizzati per lo Scenario 3.

T° setpoint periodo invernale ed estivo		
Ambienti	Min	Max
Tutti gli ambienti	23,5°C	24,5°C

Tabella 21. Consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 3.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2018	kWh _t	kWh _t	%
1	56098	57253	2
2	84751	46088	-46
3	46435	58339	26
4	15140	28623	89
5	7793	9484	22
6	7012	3519	-50
7	7245	877	-88
8	716	761	6
9	0	4905	
10	19418	32227	66
11	50062	55920	12
12	90805	50758	-44
TOT	385476	348752	-10

Figura 65. Confronto tra i consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 3.

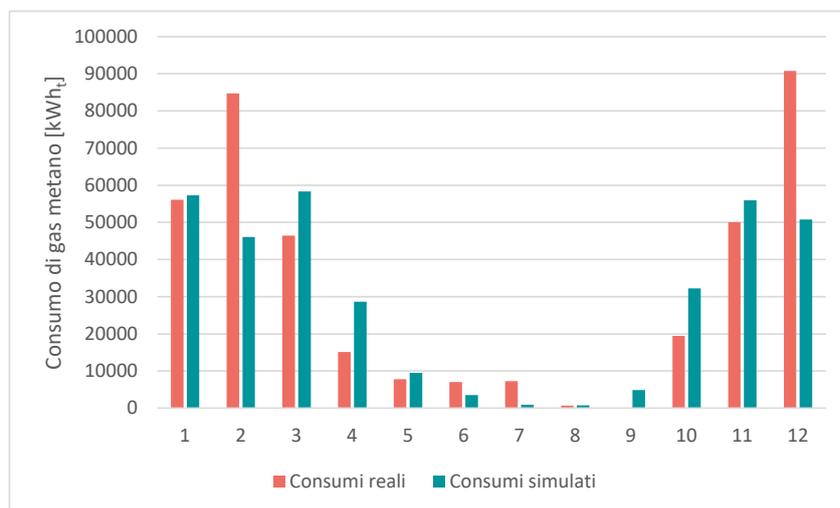
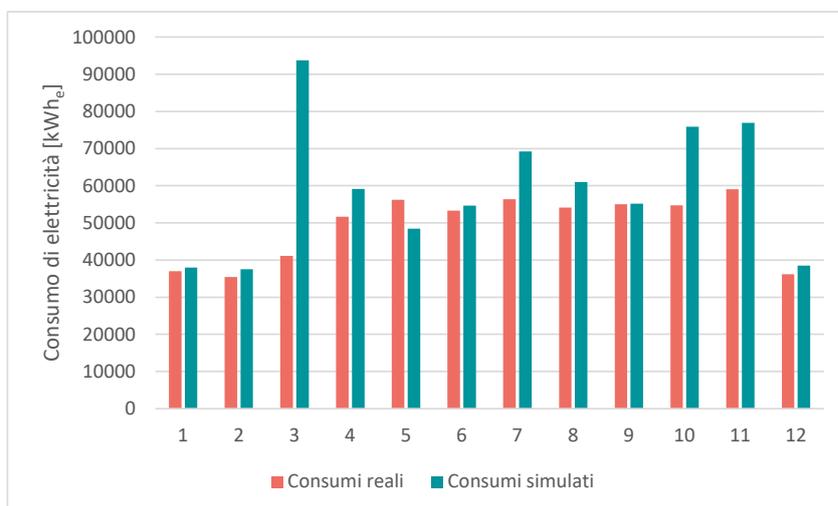


Tabella 22. Consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 3.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2017	KWh _e	KWh _e	(%)
1	37003	37956	3
2	35412	37490	6
3	41129	93743	128
4	51633	59144	15
5	56233	48460	-14
6	53265	54679	3
7	56363	69222	23
8	54100	60996	13
9	55019	55203	0
10	54730	75907	39
11	59092	76920	30
12	36177	38518	6
TOT	590156	708238	20

Figura 66. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 3.



Scenario 4

Partendo dalla simulazione precedente, è stato modificato il *setpoint* solo del periodo estivo, impostando un *setpoint* minimo di 26°C e massimo di 28°C.

In questo caso i consumi elettrici risultano per il periodo estivo in generale più bassi rispetto a quelli reali, tuttavia sommando i consumi totali il divario reali/simulati diminuisce ulteriormente, come accade anche per i consumi di gas.

Questo risulta dunque essere in generale lo scenario migliore.

Tabella 23, 24. Setpoint utilizzati per lo Scenario 4.

T° setpoint periodo invernale			T° setpoint periodo estivo		
Ambienti	Min	Max	Ambienti	Min	Max
Tutti gli ambienti	23,5°C	24,5°C	Tutti gli ambienti	24°C	28°C

Tabella 25. Consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 4.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2018	kWh _t	kWh _t	%
1	56098	57253	2
2	84751	46088	-46
3	46435	58339	26
4	15140	32346	114
5	7793	15433	98
6	7012	7960	14
7	7245	4571	-37
8	716	3058	327
9	0	10176	
10	19418	35606	83
11	50062	55920	12
12	90805	50758	-44
TOT	385476	377506	-2

Figura 67. Confronto tra i consumi di gas metano reali e simulati nello Scenario 4.

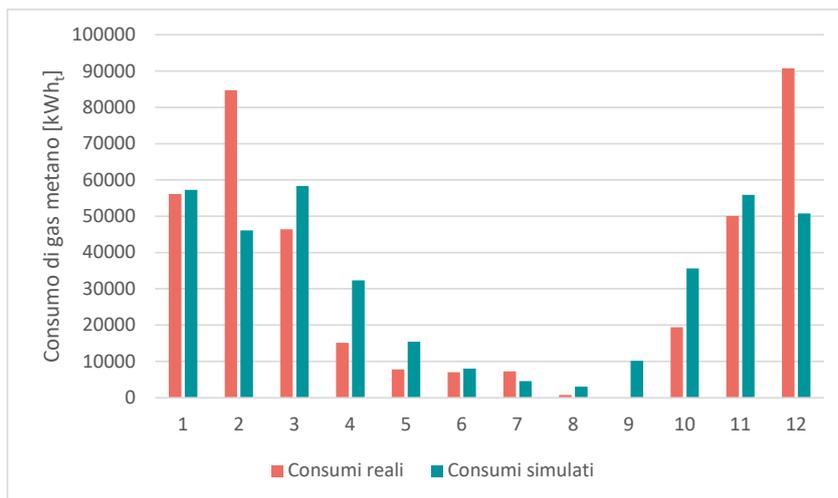
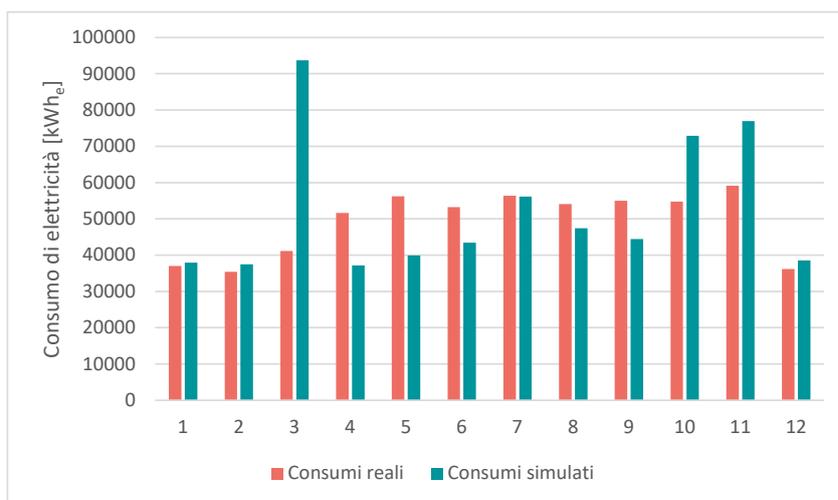


Tabella 26. Consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 4.

Anno	Consumi reali	Consumi simulati	MBE
2017	KWh _e	KWh _e	(%)
1	37003	37956	3
2	35412	37490	6
3	41129	93743	128
4	51633	37200	-28
5	56233	39907	-29
6	53265	43476	-18
7	56363	56142	0
8	54100	47447	-12
9	55019	44424	-19
10	54730	72873	33
11	59092	76920	30
12	36177	38518	6
TOT	590156	626096	6

Figura 68. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati nello Scenario 4.



Dai report delle temperature degli ambienti sono stati estrapolati i dati relativi ad alcuni ambienti che fanno riferimento a determinate zone termiche, climatizzate in maniera differente.

I grafici mettono a confronto la temperatura media mensile esterna con quella simulata negli scenari 3 e 4.

La temperatura media del periodo invernale rimane invariata poiché in entrambi gli scenari la temperatura di *setpoint* è la stessa. Invece per quanto riguarda il periodo estivo si può notare che lo scenario 4 ha le temperature più alte in quanto il *setpoint* per il raffrescamento è 28°C.

I *setpoint* dello scenario 4 se da un lato permettono di avvicinarsi ai consumi reali totali, dall'altro "alterano" sovrastimando i consumi di gas simulati di alcuni mesi (come aprile, maggio, luglio e ottobre) poiché il *setpoint* per il riscaldamento è 24°C°.

Inoltre, dal grafico delle temperature mensili del foyer al piano primo è possibile notare come non ci sia differenza di temperature tra scenario 3 e 4 in quanto questo ambiente è sprovvisto di sistema di raffrescamento.

Salone			
	T° est. 2017	Scen. 3	Scen. 4
	T° media aria (°C)		
1	1,4	23,6	23,6
2	5,6	23,6	23,6
3	11,6	25,2	25,2
4	13,6	24,6	25,8
5	17,7	24,2	26,7
6	23,1	25,1	28
7	23,7	25,3	28,3
8	24,2	25,5	28,9
9	17,8	25	27,6
10	14,5	24,9	26
11	7,3	24,7	24,7
12	1,9	23,6	23,6
T° media annuale	13,5	24,6	26

Tabella 27. Temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4.

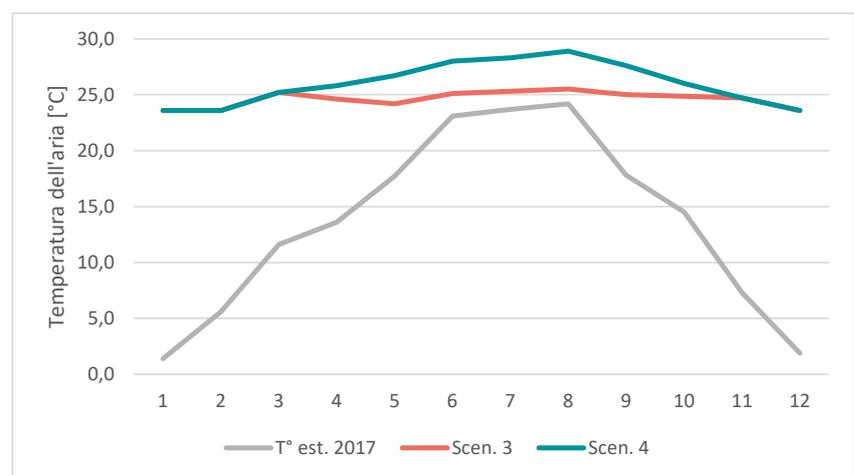


Figura 69. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4 nel Salone dei Concerti, rapportate con le temperature medie esterne.

Aule 22-26			
	T° est. 2017	Scen. 3	Scen. 4
T° media aria (°C)			
1	1,4	22,2	22,2
2	5,6	22,7	22,7
3	11,6	23,3	23,3
4	13,6	23,4	24,5
5	17,7	23,9	26,3
6	23,1	24,3	26,9
7	23,7	25	27,1
8	24,2	25,3	27,3
9	17,8	24,3	26,8
10	14,5	23,7	24,9
11	7,3	22,9	22,9
12	1,9	22,1	22,1
T° media annuale	13,5	23,6	24,7

Tabella 28. Temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4.

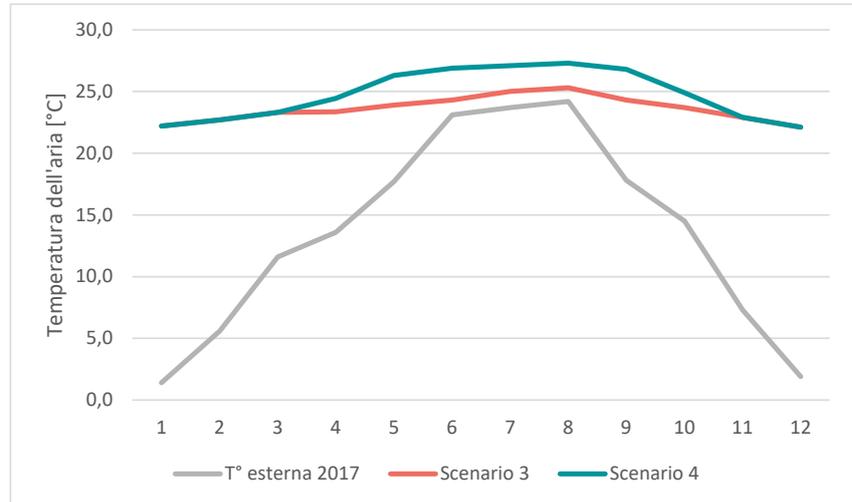


Figura 70. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4 all'interno delle aule 22-26 site al secondo piano, rapportate con le temperature medie esterne.

Uffici			
	T° est. 2017	Scen. 3	Scen. 4
T° media aria (°C)			
1	1,4	22,2	22,2
2	5,6	22,7	22,7
3	11,6	23,3	23,3
4	13,6	21,8	22,7
5	17,7	23,4	26,3
6	23,1	24,1	26,9
7	23,7	24,5	27,1
8	24,2	24,5	27,3
9	17,8	24	26,8
10	14,5	22,15	23,05
11	7,3	22,9	22,9
12	1,9	22,1	22,1
T° media annuale	13,5	23,1	24,4

Tabella 29. Temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4.

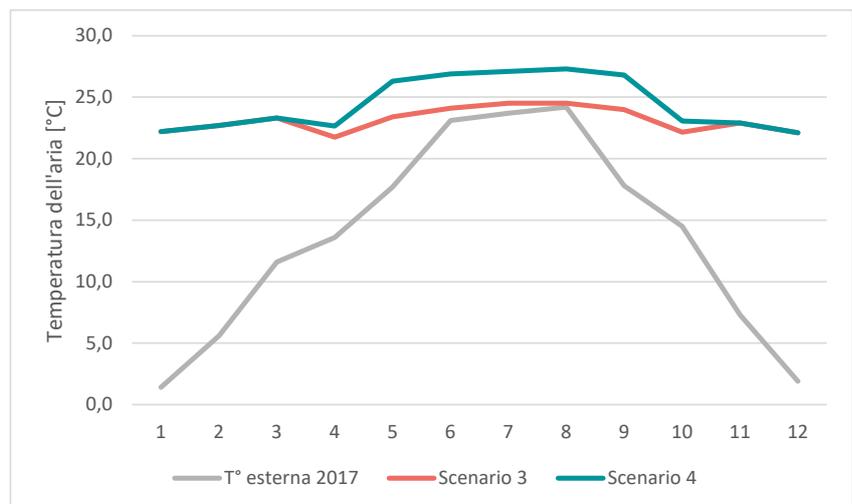


Figura 71. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4 negli uffici, rapportate con le temperature medie esterne.

Foyer piano primo			
	T° est. 2017	Scen. 3	Scen. 4
	T° media aria (°C)		
1	1,4	20,2	20,2
2	5,6	21,2	21,2
3	11,6	22	22
4	13,6	22,2	23,2
5	17,7	23,3	25,2
6	23,1	24,8	26,6
7	23,7	27,8	28,4
8	24,2	28,3	28,7
9	17,8	25	26,1
10	14,5	22,65	23,65
11	7,3	21,6	21,6
12	1,9	20,3	20,3
T° media an- nuale	13,5	23,3	23,9

Tabella 30. Temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4.

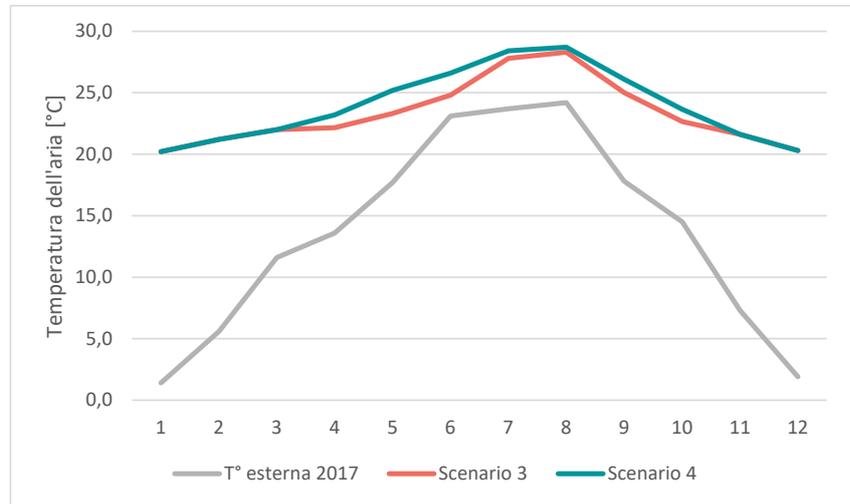


Figura 72. Grafico che mostra l'andamento delle temperature medie mensili degli Scenari 3 e 4 all'interno del Foyer al piano primo, rapportate con le temperature medie esterne.

Per avere ulteriore conferma della validità dei risultati ottenuti dalla calibrazione, sono stati comparati i dati relativi alle temperature medie giornaliere di un determinato periodo di tempo il quale è stato monitorato dall'ing. Carlo Savasta e che ha coinvolto le aule didattiche.

Tale monitoraggio è stato eseguito nel periodo dal 12 al 18 novembre 2017 in cui delle sonde hanno misurato la temperatura in ambiente con un intervallo di 5 minuti nelle aule 6A (piano ammezzato), 14 e 18 (piano secondo).

Le temperature misurate si attestano sui 22°C nelle aule 6 e 18 e 23°C nell'aula 14 durante i periodi di occupazione.

Dai report della simulazione dello scenario 4 sono stati estrapolati i dati relativi al periodo monitorato nelle aule 14 e 18 e la temperatura media dell'intero periodo risulta essere 23°C.

Invece, per quanto riguarda la temperatura media giornaliera, la simulazione ci dice che, prendendo come giorno di riferimento il 14/11/2017, la temperatura media giornaliera è di 23,3°C mentre quella durante il periodo di occupazione (9:00-19:00) è di 24,4°C.

Tabella 31. Temperature medie giornaliere simulate nel periodo monitorato all'interno delle aule al secondo piano (Scenario 4).

Aule 14-21	
Periodo monitorato	T° media dell'aria(°C)
12-nov	21,6
13-nov	22,6
14-nov	23,3
15-nov	23,4
16-nov	23,5
17-nov	23,7
18-nov	24
T° media	23

Tabella 32. Temperature medie orarie simulate nel giorno 14/11/2017 all'interno delle aule al secondo piano (Scenario 4).

Aule 14-21 il 14-11-2017		
Ore	T° media aria (°C)	T° operativa (°C)
1	21,8	21,8
2	21,7	21,7
3	21,5	21,6
4	21,4	21,4
5	21,3	21,3
6	21,2	21,2
7	21,1	26,4
8	25,1	25,7
9	24,2	23,7
10	24,5	24,1
11	24,4	24,2
12	24,4	24,2
13	24,4	24,3
14	24,4	24,3
15	24,5	24,4
16	24,5	24,4
17	24,5	24,4
18	24,4	24,4
19	24,3	24,2
20	24,3	24,1
21	23,4	23,4
22	23,1	23,1
23	22,8	22,9
24	22,6	22,7
media	23,3	23,5
T° media periodo di occupazione (9-19)	24,4	24,2

Confronto tra gli scenari

In definitiva lo scenario che più si avvicina ai consumi reali è il 4. Per quanto riguarda il periodo invernale si può affermare che con ogni probabilità il *setpoint* del periodo invernale si aggira sui 24°C in generale in tutto il Conservatorio, al contrario di quanto è stato ipotizzato nella fase di inserimento degli input, ovvero 22°C. Questo costituisce un problema non indifferente in quanto in primo luogo crea uno stato di *discomfort* agli utenti dell'edificio ed in secondo luogo è uno spreco considerevole in quanto come suggerisce la norma europea EN 15251 [70] la temperatura consigliata per il *comfort* degli occupanti in luoghi come uffici, auditorium e aule didattiche è fino a 21°C.

	Consumi reali	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	MBE_1	MBE_2	MBE_3	MBE_4
2018	kWh _t	%	%	%	%				
1	56098	44217	54930	57253	57253	-21	-2	2	2
2	84751	33184	45560	46088	46088	-61	-46	-46	-46
3	46435	41453	55391	58339	58339	-11	19	26	26
4	15140	20790	23269	28623	32346	37	54	89	114
5	7793	4936	4936	9484	15433	-37	-37	22	98
6	7012	1077	1077	3519	7960	-85	-85	-50	14
7	7245	64	64	877	4571	-99	-99	-88	-37
8	716	84	84	761	3058	-88	-88	6	327
9	0	1914	1914	4905	10176				
10	19418	24582	28430	32227	35606	27	46	66	83
11	50062	41488	53384	55920	55920	-17	7	12	12
12	90805	37960	48574	50758	50758	-58	-47	-44	-44
TOT	385476	251749	317613	348752	377506	-35	-18	-10	-2

Tabella 33. Confronto tra i consumi di gas reali e simulati in ogni scenario

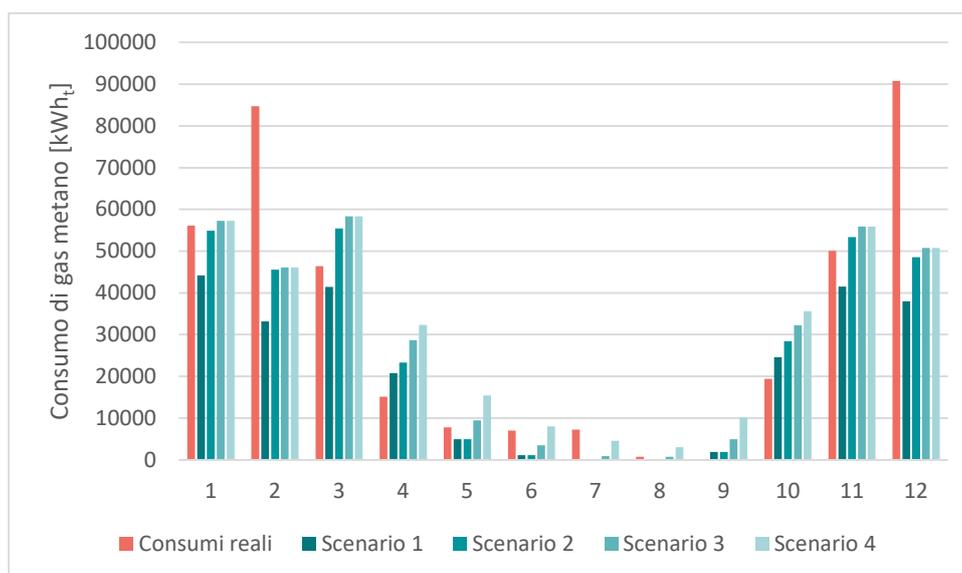


Figura 73. Confronto tra i consumi di gas reali e simulati in ogni scenario

	Consumi reali	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	MBE_1	MBE_2	MBE_3	MBE_4
2017	kWh _e	%	%	%	%				
1	37003	36585	37912	37956	37956	-1	2	3	3
2	35412	34200	41876	37490	37490	-3	18	6	6
3	41129	82654	95152	93743	93743	101	131	128	128
4	51633	58259	38794	59144	37200	13	-25	15	-28
5	56233	47815	47815	48460	39907	-15	-15	-14	-29
6	53265	55670	55670	54679	43476	5	5	3	-18
7	56363	71201	71201	69222	56142	26	26	23	0
8	54100	62394	62394	60996	47447	15	15	13	-12
9	55019	55606	55606	55203	44424	1	1	0	-19
10	54730	76860	76076	75907	72873	40	39	39	33
11	59092	71390	77186	76920	76920	21	31	30	30
12	36177	35883	38760	38518	38518	-1	7	6	6
TOT	590156	688517	698443	708238	626096	17	18	20	6

Tabella 34. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati in ogni scenario

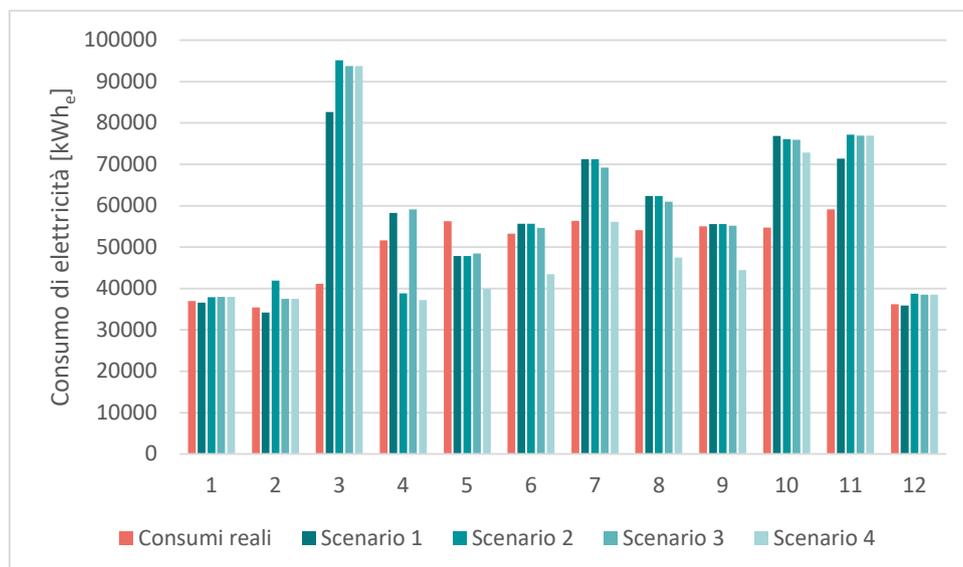


Figura 74. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati in ogni scenario

PARTE III

IMPLEMENTAZIONE DELLE STRATEGIE DI GESTIONE ENERGETICA OTTIMALE

In questo ultimo capitolo vengono illustrate le strategie implementate nel modello di simulazione calibrato, volte alla riduzione dei consumi energetici del Conservatorio di musica.

Nel capitolo precedente è stato possibile verificare, tramite il processo di calibrazione, dove risiedono gli sprechi energetici, da attribuire principalmente alla gestione dei sistemi impiantistici dell'edificio. Una volta individuati gli sprechi, si è deciso di intervenire su diversi piani, a seconda della stagione.

Strategie per il periodo invernale

Nel periodo invernale si interviene attraverso la modifica delle temperature di *setpoint* e per quanto riguarda gli orari di funzionamento di:

- Impianto di riscaldamento;
- Ventilazione meccanica controllata.

Per quanto riguarda il riscaldamento del periodo invernale, è stato appurato che il *setpoint* di questa stagione è con ogni probabilità di 24°C; ciò rappresenta una fonte di consumo non indifferente, oltre generare anche del *discomfort*. In merito a ciò si è deciso di optare per una strategia che mantenga una temperatura di *setpoint* di 20°C in tutti gli ambienti dell'edificio, come consigliato dalla normativa europea [70].

Per l'orario di funzionamento si è pensato di ridurlo di alcune ore, facendo partire il riscaldamento alle 8:30 (anziché le 6) e spegnendolo alle 19, tutti i giorni salvo prolungamento nei giorni in cui vi sono gli eventi (il venerdì fino alle 22 anziché le 24); di conseguenza, anche l'UTA del Salone dei concerti seguirà gli stessi orari.

Anche le impostazioni della ventilazione meccanica controllata delle aule vengono modificate in quanto essa se è vero che la sua funzione principale è il controllo della qualità dell'aria, è pur vero che potrebbe essere sfruttata in ausilio ai terminali per l'abbattimento dei carichi termici; viene dunque impostato un *setpoint* di mandata dell'aria pari a 22°C e ridotto il funzionamento dalle 8:30 alle 19 (anziché dalle 6 alle 19).

Strategie per il periodo estivo

Anche nel periodo estivo si interviene con la modifica delle temperature di *setpoint* e per quanto riguarda gli orari di funzionamento di:

- Impianto di raffrescamento;
- Ventilazione meccanica controllata.

Durante la fase di calibrazione del modello è stato riscontrato che apparentemente non risultano esserci grossi sprechi evidenti, motivo per cui si è deciso di mantenere un *setpoint* non troppo alto (per non rischiare di creare problemi di *discomfort*) e intervenire riducendo gli orari di funzionamento degli impianti (come nel caso invernale).

Nello specifico, la temperatura di *setpoint* per il raffrescamento è di 26°C in tutti gli ambienti dell'edificio (posto che negli ambienti sprovvisti di raffrescamento non è comunque possibile arrivare alla temperatura sopra indicata).

Gli orari di funzionamento per il raffrescamento e della ventilazione meccanica controllata seguono quelli del periodo invernale, quindi dalle 8:30 alle 19 (raffrescamento e ventilazione meccanica controllata, tutti i giorni) e raffrescamento fino alle 22 nel Salone dei concerti durante gli eventi serali.

L'ultimo intervento riguarda il *setpoint* dell'aria di mandata della ventilazione meccanica controllata nelle aule, innalzata a 25°C.

Altre strategie valide tutto l'anno

Per quanto riguarda gli altri sistemi dell'edificio (che non sono quelli impiantistici), si è deciso di modificare la modalità di controllo dei sistemi di oscuramento. Se infatti durante la fase di reperimento dei dati di input è emerso che la maggior parte degli occupanti non interagisce con i sistemi di schermatura (per esempio per ridurre il surriscaldamento nel periodo estivo dovuto all'apporto solare sulla superficie vetrata), è al contrario necessario che questi elementi vengano sfruttati per esercitare la loro funzione. Per questo motivo si è deciso di impostare una *schedule* per gli oscuranti, in tutti gli ambienti valida per tutto l'anno, con la modalità di controllo *light+schedule*: in questo modo il programma abbasserà o alzerà il sistema di oscuramento in base ai valori minimi e massimi di illuminamento impostati in ogni zona.

L'ultima considerazione riguarda l'apertura/chiusura delle finestre. Un'ottima strategia che migliorerebbe soprattutto il *comfort* degli occupanti è che le finestre si possano aprire anche dove attualmente non è consentito, ovvero nelle aule, poiché la ventilazione meccanica controllata opera solo in mandata, quindi per non creare *discomfort* necessita un'espulsione dell'aria viziata. Ciò è effettivamente attuabile e sensato nella realtà, tuttavia nel modello di

simulazione creato per questo lavoro di tesi, l'UTA della ventilazione meccanica controllata delle aule opera sia in mandata che in ripresa, quindi inserire delle *schedule* di apertura delle finestre significherebbe simulare ulteriori sprechi, perché idealmente la ventilazione meccanica controllata funziona come dovrebbe. Per questo motivo si è deciso di mantenere le *schedule* di apertura/chiusura delle finestre invariate.

Risultati delle strategie

Tabella 35. Consumi di gas metano reali e simulati a seguito dell'implementazione delle strategie.

	Consumi reali	Consumi simulati	Risparmio
2018	kWh _t	kWh _t	%
1	56098	36167	-36
2	84751	26333	-69
3	46435	14804	-68
4	15140	6250	-59
5	7793	3299	-58
6	7012	1240	-82
7	7245	398	-95
8	716	296	-59
9	0	1807	
10	19418	6493	-67
11	50062	18415	-63
12	90805	30225	-67
TOT	385476	145728	-62

Figura 75. Confronto tra i consumi di gas metano reali e simulati a seguito dell'implementazione delle strategie.

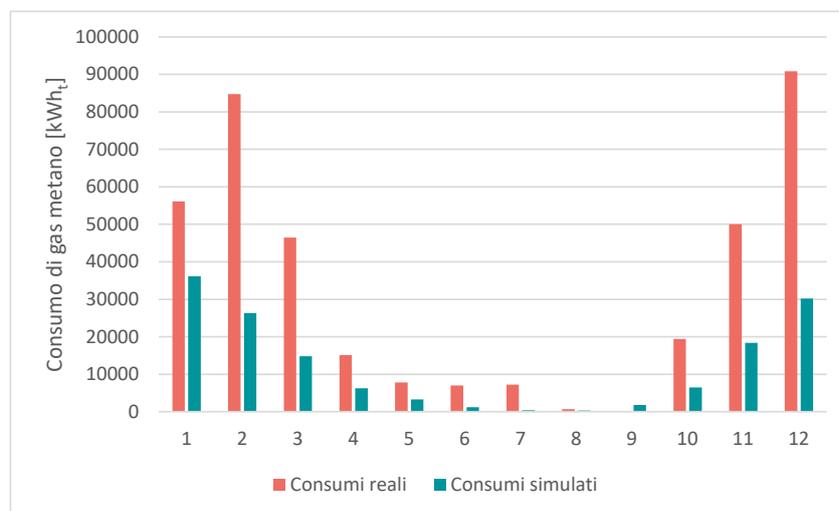
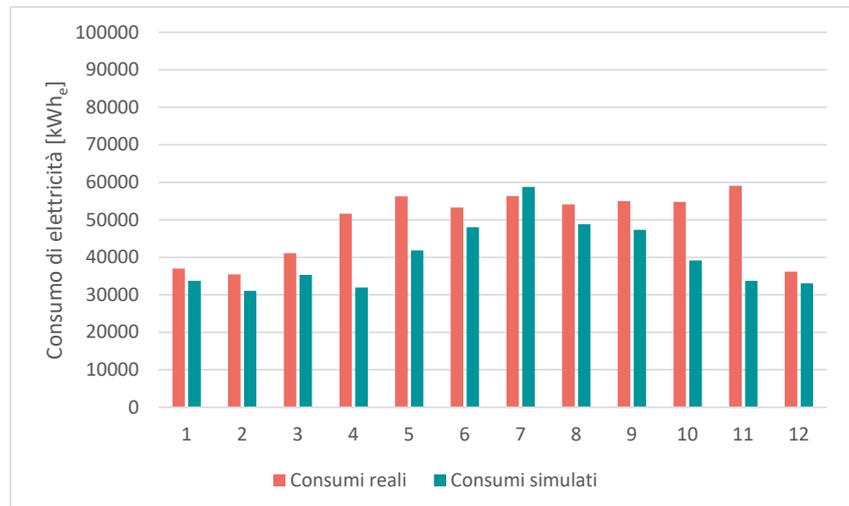


Tabella 36. Consumi di elettricità reali e simulati a seguito dell'implementazione delle strategie.

	Consumi reali	Consumi simulati	Risparmio
2017	KWh _e	KWh _e	(%)
1	37003	33707	-9
2	35412	31096	-12
3	41129	35324	-14
4	51633	31970	-38
5	56233	41864	-26
6	53265	47985	-10
7	56363	58800	4
8	54100	48792	-10
9	55019	47318	-14
10	54730	39160	-28
11	59092	33709	-43
12	36177	33049	-9
TOT	590156	482773	-18

Figura 76. Confronto tra i consumi di elettricità reali e simulati a seguito dell'implementazione delle strategie.



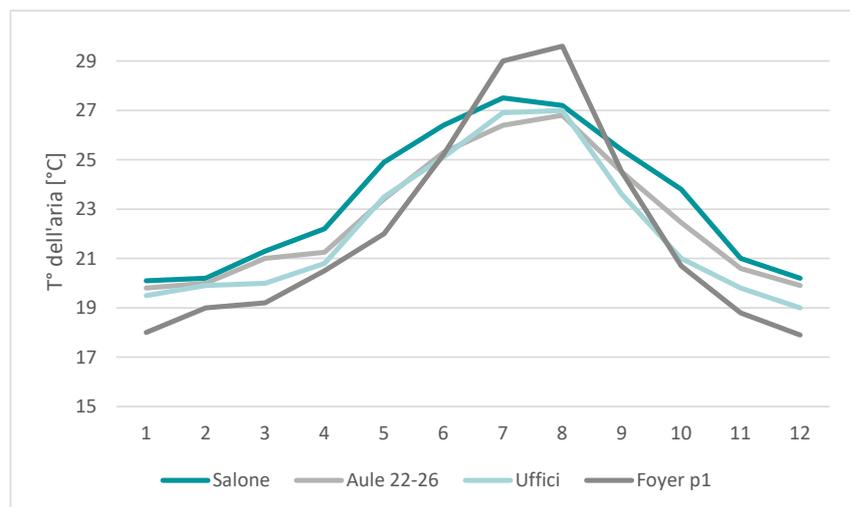
Dai risultati si nota come, modificando le temperature di *setpoint* e gli orari di accensione/spengimento degli impianti sia possibile raggiungere considerevoli risparmi, soprattutto per quanto riguarda l'energia termica. Infatti, è stato riscontrato che gli sprechi maggiori risiedevano nei consumi di gas, in quanto viene mantenuto un *setpoint* molto alto per il riscaldamento, addirittura sopra la soglia consigliata dalla normativa [70]. Diminuendo tale *setpoint* è possibile raggiungere un risparmio fino al 60%.

Anche nel caso dei consumi elettrici è possibile raggiungere dei risparmi notevoli con la sola riduzione degli orari di funzionamento delle UTA e modificando il *setpoint* della temperatura dell'aria di mandata della ventilazione meccanica controllata. Adottando questi accorgimenti è possibile ridurre i consumi elettrici del 18%, mantenendo un *setpoint* per il raffrescamento di 26°C.

Tabella 37. Temperature simulate a seguito dell'implementazione delle strategie.

	Salone	Aule 22-26	Uffici	Foyer p1
	T° media dell'aia (°C)			
1	20,1	19,8	19,5	18
2	20,2	20	19,9	19
3	21,3	21	20	19,2
4	22,2	21,3	20,8	20,5
5	24,9	23,4	23,5	22
6	26,4	25,3	25,1	25,2
7	27,5	26,4	26,9	29
8	27,2	26,8	27	29,6
9	25,4	24,5	23,6	24,5
10	23,8	22,5	21,0	20,7
11	21	20,6	19,8	18,8
12	20,2	19,9	19	17,9
T° media annuale	23,4	22,6	22,2	22,0

Figura 77. Confronto tra le temperature simulate a seguito dell'implementazione delle strategie in 4 ambienti climatizzati in modo differente.



Tenendo un *setpoint* di 20°C per il riscaldamento, le temperature medie che si registrano nei mesi invernali sono piuttosto basse, soprattutto negli ambienti dotati di riscaldamento tramite radiatori (locali di servizio e uffici), in cui durante i periodi di occupazione degli ambienti le temperature sia aggirano intorno ai 20°C e di notte tra i 16° e i 19°C. Sarebbe opportuno verificare se, implementando queste strategie nella quotidianità, si potrebbero verificare dei problemi di discomfort per esempio al mattino quando, dopo che gli ambienti sono rimasti “freddi” per tutta la notte, nell’impiegare un po’ di tempo a riscaldarsi, potrebbero dare la sensazione di spazi freddi e poco confortevoli. Questo comunque non è da considerarsi un problema poichè negli uffici sono presenti le termovalvole su cui gli utenti che percepiscono freddo possono agire alzando la temperatura, a patto che queste vengano riportate

nella posizione originale prima di lasciare il posto di lavoro, poichè se così non fosse si rischierebbe di innalzare di nuovo i consumi, inutilmente.

Al contrario le aule risultano avere gradi in più a causa della presenza della ventilazione meccanica controllata che si va a sovrapporre ai terminali in ambiente. In linea generale, con una ventilazione meccanica che funziona idealmente non ci dovrebbero essere problemi di *discomfort*, tuttavia, anche in questo caso gli utenti potrebbero agire sui terminali o sui termostati nel caso in cui la temperatura non li dovesse soddisfare, con l'accortezza di resettare le temperature di *setpoint* per evitare gli sprechi.

Per quanto riguarda le temperature estive è possibile notare che gli ambienti dotati di raffrescamento riescono ad arrivare al *setpoint* impostato (26°C) che dovrebbe risultare ideale anche in termini di comfort per l'occupante, mentre i locali di servizio sprovvisti di raffrescamento hanno un picco nei mesi più caldi in cui le temperature raggiungono i 29°C.

Questo lavoro di tesi ha come scopo la realizzazione della diagnosi energetica del Conservatorio di musica di Torino, un edificio storico vincolato che, in seguito ad un importante intervento di *retrofit* volto al miglioramento della sua prestazione energetica, ha subito delle variazioni inattese nei consumi energetici.

Tramite l'impiego del *software* di simulazione dinamica IDA-ICE è stato possibile realizzare la diagnosi ed individuare gli sprechi, ed in ultimo luogo individuare le strategie di gestione ottimale da implementare per la riduzione dei consumi.

Al termine di questo lavoro si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Come riscontrato in letteratura, l'impiego di un *software* di simulazione dinamica per condurre la diagnosi energetica di un edificio storico è lo strumento ad oggi più indicato in quanto permette di non sottostimare o sovrastimare eccessivamente il calcolo. Infatti, il metodo seguito per la costruzione del modello e la raccolta dei dati di input si è rivelato essere valido in quanto ha permesso di ottenere, a seguito della calibrazione, un modello sufficientemente affidabile per proseguire con la ricerca. Ciò nonostante, va espresso che la modellazione di un edificio storico all'interno di un *software* come IDA-ICE risulta comunque difficoltosa e non priva di semplificazioni inevitabili. Ciò è dovuto principalmente al fatto che i *software* sviluppati per le simulazioni energetiche sono particolarmente idonei quando si tratta di edifici recenti, mentre quelli storici possiedono elementi poco compatibili con la natura di tali *software*; nel caso del Conservatorio non è stato possibile riprodurre diversi elementi tipici delle fabbriche storiche come le volte ed il portico, oppure il sistema di "doppia finestra" spesso presente in edifici storici riqualificati. Anche per quanto riguarda la raccolta dei dati di input la ricerca non sempre si è rivelata immediata; ad esempio, per la definizione degli elementi d'involucro opaco gli abachi forniti dalla normativa vigente non sono adeguatamente vicini alle stratigrafie degli edifici storici. Anche il reperimento di dati specifici su apparecchi, luci e occupanti può rivelarsi difficoltoso in mancanza di un capitolato o di dati di progetto.
- Il caso del Conservatorio di musica è la riprova che talvolta, in seguito agli interventi di efficientamento a livello di involucro o di impianti, non sempre si ha la garanzia di ottenere i risparmi desiderati se l'interazione edificio-occupante non è virtuosa. Come spesso accade nei grandi edifici pubblici, i consumi energetici risultano eccessivi a causa della "cattiva" gestione dell'edificio; in questo senso, il processo di calibrazione è stato determinante per l'individuazione degli sprechi. I risultati

ottenuti dalla simulazione in seguito all'ottimizzazione della gestione energetica del Conservatorio sono piuttosto promettenti; infatti, con semplici azioni tese al risparmio come la modifica delle temperature di *setpoint* e la riduzione dell'orario di funzionamento degli impianti (evitando quindi i periodi non necessari), è possibile ridurre fino al 60% i consumi di energia termica e del 18% i consumi di energia elettrica.

Per gli sviluppi futuri sarebbe auspicabile in primo luogo sopperire alle carenze derivanti dalle incompatibilità che si instaurano nel modellare edifici storici in *software* di simulazione, per esempio ampliando i *database* dei *software* arricchendoli con informazioni che si addicono maggiormente agli edifici storici, oppure creando abachi specifici per gli edifici antichi in modo tale da rendere più agevole la fase di inserimento degli input.

In secondo luogo, il caso studio del Conservatorio ha previsto l'implementazione delle sole strategie di gestione degli impianti; potrebbero essere implementate altre strategie che riguardano l'interazione edificio-occupante, come le luci, gli apparecchi, l'apertura/chiusura delle finestre e l'utilizzo delle schermature. Inoltre, questo lavoro è stato eseguito sulla base dello spunto offerto dalla campagna nazionale "Patrimonio culturale in classe A", che si poneva come obiettivo la riduzione dei consumi e dei costi energetici che pesano sui bilanci della Pubblica Amministrazione partendo da azioni di natura gestionale. Il lavoro svolto potrebbe definirsi come punto di partenza per il proseguo dell'obiettivo di questa campagna, indagando altri edifici storici, siano essi già riqualificati oppure no, proponendo tali strategie come intervento di *retrofit* non invasivo ed economicamente non dispendioso.

Per concludere, questo lavoro si inserisce nell'ottica di un mondo che (forse) si prepara alla rieducazione di un utente maggiormente consapevole nella gestione delle risorse energetiche, attraverso "buone pratiche" da applicare nella quotidianità.

- [1] Treccani, “sviluppo sostenibile treccani.”
- [2] F. Fabbro, “Implementazione di strategie di gestione energetica intelligente in edifici residenziali esistenti,” 2017.
- [3] R. Lifegate, “Il Protocollo di Kyoto,” 2010, 2010. [Online]. Available: https://www.lifegate.it/persone/news/il_protocollo_di_kyoto1.
- [4] “Pacchetto per il clima e l’energia 2020.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it#tab-0-1.
- [5] Commissione Europea, “Una tabella di marcia verso un’economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050,” 2011.
- [6] Tommaso Perrone, “Cosa sono i cambiamenti climatici, cause e conseguenze.,” Lifegate. [Online]. Available: <https://www.lifegate.it/persone/news/cambiamenti-climatici-cause-conseguenze>.
- [7] A. Martínez-Molina, I. Tort-Ausina, S. Cho, and J. L. Vivanco, “Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 70–85, 2016.
- [8] European Parliament, “Directive 2002/91/CE,” *Gazz. Uff. dell’Unione Eur.*, vol. L1, no. 4 gennaio 2004, pp. 65–71, 2003.
- [9] European Parliament, “Directive 2010/31/EU,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L153/13, no. 18.6.2010, pp. 13–35, 2010.
- [10] Unione Europea, “Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica,” vol. 2018, pp. 75–91, 2018.
- [11] A. Troi, “3ENCULT Final Report Summary,” 2010.
- [12] “UNI EN 16883:2017. Conservazione dei beni culturali - Linee guida per migliorare la prestazione energetica degli edifici storici.”
- [13] M. Ragni et al., “Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani,” pp. 1–200, 2013.
- [14] A. Loli and C. Bertolin, “Towards Zero-Emission Refurbish-

ment of Historic Buildings: A Literature Review,” *Buildings*, vol. 8, no. 2, p. 22, 2018.

[15] G. R. R. Cantin, J. Burgholzer, G. Guarracino, B. Moujalled, Tamelikecht, “Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France,” *Build. Environ.*, vol. 45, no. 2, pp. 473–484, 2010.

[16] X. Y. Qindi Li, Xiao Sun, Chun Chen, “Characterizing the household energy consumption in heritage Nanjing Tulou buildings, China: A comparative field survey study,” *Energy Build.*, vol. 49, pp. 317–326, 2012.

[17] H. M. T. Martin Morelli, Leif Rønby, Svend Erik Mikkelsen, Maja G. Minzari, Troels Kildemoes, “Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a ‘nearly-zero’ energy building based on experiences from a test apartment,” *Energy Build.*, vol. 54, pp. 395–406, 2012.

[18] K. Andreina Maahsen-Milan, “Energy restoration and retrofitting. Rethinking restoration projects by means of a reversibility/sustainability assessment,” *J. Cult. Herit.*, vol. 14, no. 3, pp. 41–44, 2013.

[19] S. S. Rosella Cataldo, Antonella De Donno, Giorgio De Nunzio, Gianni Leucci, Luigia Nuzzo, “Integrated methods for analysis of deterioration of cultural heritage: the Crypt of ‘Cattedrale di Otranto,’” *J. Cult. Herit.*, vol. 6, no. 1, pp. 29–38, 2005.

[20] C. . C. L. de Santoli, F. Fraticelli, F. Fornari, “Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome,” *Energy Build.*, vol. 68, pp. 196–202, 2014.

[21] G. P. V. Fabrizio Ascione, Filippo de Rossi, “Energy retrofit of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 8, pp. 1925–1936, 2011.

[22] M. Filippi, “Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy,” *Energy Build.*, vol. 95, pp. 15–22, 2015.

[23] P. Culturale, “Patrimonio Culturale in classe A ”, pp. 2017–2019, 2018.

[24] M. Poggi, “La nuova prestazione energetica dell’edilizia storica e monumentale,” pp. 66–71, 2016.

- [25] S. Dubois, L. Dekeyser, and Y. Vanhellefont, “Energy efficiency retrofit of historic buildings: concepts, approaches and interventions,” pp. 296–299.
- [26] V. Pracchi, “Historic Buildings and Energy Efficiency,” *Hist. Environ. Policy Pract.*, vol. 5, no. 2, pp. 210–225, 2014.
- [27] F. Pianezze, “L’obiettivo del miglioramento dell’efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico,” 2012.
- [28] K. Fouseki and M. Cassar, “Energy Efficiency in Heritage Buildings — Future Challenges and Research Needs,” *Hist. Environ. Policy Pract.*, vol. 5, no. 2, pp. 95–100, 2014.
- [29] G. Spigiantini et al., “Historical buildings’ energy conservation potentialities A methodology focused on building operation,” 2018.
- [30] H. Yoshino, T. Hong, and N. Nord, “IEA EBC annex 53 : Total energy use in buildings — Analysis and evaluation methods,” vol. 152, no. March 2013, pp. 124–136, 2017.
- [31] K. Fabbri and M. Pretelli, “Heritage buildings and historic microclimate without HVAC technology: Malatestiana Library in Cesena, Italy, UNESCO Memory of the World,” *Energy Build.*, vol. 76, pp. 15–31, 2014.
- [32] F. Berg, A. C. Flyen, Å. L. Godbolt, and T. Broström, “User-driven energy efficiency in historic buildings: A review,” *J. Cult. Herit.*, vol. 28, pp. 188–195, 2017.
- [33] A. Paone, “The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It : A Review of the State of the Art,” 2018.
- [34] C. Adams, R. Douglas-Jones, A. Green, Q. Lewis, and T. Yarrow, “Building with History: Exploring the Relationship between Heritage and Energy in Institutionally Managed Buildings,” *Hist. Environ. Policy Pract.*, vol. 5, no. 2, pp. 167–181, 2014.
- [35] H. Ben and K. Steemers, “Energy retrofit and occupant behaviour in protected housing: A case study of the Brunswick Centre in London,” *Energy Build.*, vol. 80, pp. 120–130, 2014.
- [36] H. Agbota, “Anticipating the Unintended Consequences of

the Decarbonisation of the Historic Built Environment in the UK,” *Hist. Environ. Policy Pract.*, vol. 5, no. 2, pp. 101–115, 2014.

[37] V. Fabi, R. V. Andersen, S. P. Corgnati, and B. W. Olesen, “A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings,” *Build. Simul.*, vol. 6, no. 4, pp. 415–427, 2013.

[38] C. Peng, D. Yan, R. Wu, C. Wang, X. Zhou, and Y. Jiang, “Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings,” *Build. Simul.*, vol. 5, no. 2, pp. 85–94, 2012.

[39] V. Fabi, R. V. Andersen, S. Corgnati, and B. W. Olesen, “Occupants’ window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models,” *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 188–198, 2012.

[40] V. Fabi, R. Andersen, and S. Corgnati, “Accounting for the Uncertainty Related to Building Occupants with Regards to Visual Comfort: A Literature Survey on Drivers and Models,” *Buildings*, vol. 6, no. 1, p. 5, 2016.

[41] T. Hong, L. Berkeley, B. Dong, S. D. Oca, and H. Engineers, “IEA EBC Annex 66 : Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings,” no. September, 2017.

[42] Z. Hong, T. Chen, Y. Belafi, “Occupant behavior models: A critical review of implementation and representation approaches in building performance simulation programs,” *Build. Simul.*, vol. 11, no. 1, 2018.

[43] R. K. Andersen, V. Fabi, and S. P. Corgnati, “Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupants’ behaviour models in residential buildings,” *Energy Build.*, vol. 127, pp. 105–115, 2016.

[44] M. Jia, R. S. Srinivasan, and A. A. Raheem, “From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, no. October 2016, pp. 525–540, 2017.

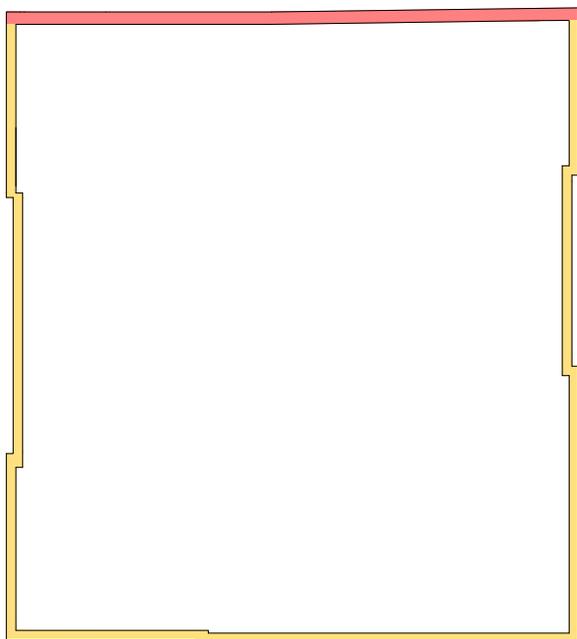
[45] V. L. Castaldo and A. L. Pisello, “Uses of dynamic simulation to predict thermal-energy performance of buildings and districts : a review,” vol. 7, no. February, pp. 1–34, 2018.

- [46] M. Calzolari, “Valutazione del comportamento energetico dell’architettura storica.,” 2012.
- [47] C. Mantovani, “Cenni sulla cronistoria del Conservatorio di Torino dalle origini al 1945,” 2016.
- [48] G. Spigliantini, “Conservatorio Giuseppe Verdi di Torino. Report stagione estiva,” 2018.
- [49] “UNI/TS 11300:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.”
- [50] “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 .”
- [51] “UNI/TS 11300:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.”
- [52] “UNI 10349-1:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell’edificio e metodi per ripartire l’irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per c.”
- [53] “UNI 10349-2:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto.”
- [54] “UNI 10349-3:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici.”
- [55] “UNI 5364:1976. Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Regole per la presentazione dell’offerta e per il collaudo.”
- [56] G. C. Giuseppe Musso, Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati. Torino, 1912.
- [57] Formenti, La pratica del fabbricare, 1909.
- [58] Corrado Latina, Muratura portante in laterizio.
- [59] “UNI/TR 11552:2014. Abaco delle strutture costituenti l’involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici.”

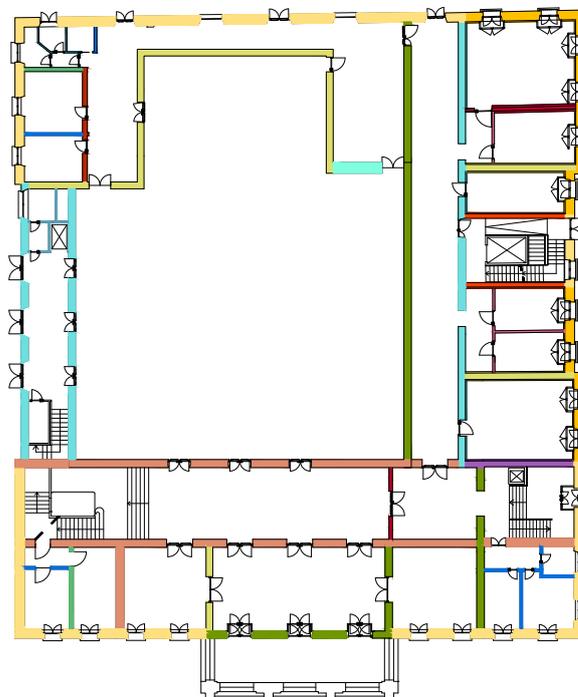
- [60] F. Sperone, “Il conservatorio di musica ‘Giuseppe Verdi’ di Torino,” Politecnico di Torino, 2007.
- [61] S. Balkov, Atlante del vetro.
- [62] “UNI EN ISO 10077-1:2018. Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.”
- [63] “UNI EN ISO 10211:2018. Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati.”
- [64] “UNI EN ISO 14683:2018. Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.”
- [65] C. Cornaro, V. Adoo, and R. Maria, “Dynamic simulation and on-site measurements for energy retrofit of complex historic buildings : Villa Mondragone case study,” *J. Build. Eng.*, vol. 6, pp. 17–28, 2016.
- [66] “UNI EN 15242:2008 Ventilazione degli edifici - Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d’aria negli edifici, comprese le infiltrazioni.” 2008.
- [67] “UNI EN ISO 13370:2018. Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.”
- [68] “UNI 10339:1995. Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura.”
- [69] I. F. B. + Ö. Neubeuern, “La ventilazione naturale negli ambienti chiusi,” pp. 29–30, 2016.
- [70] “UNI EN 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”.

ALLEGATI

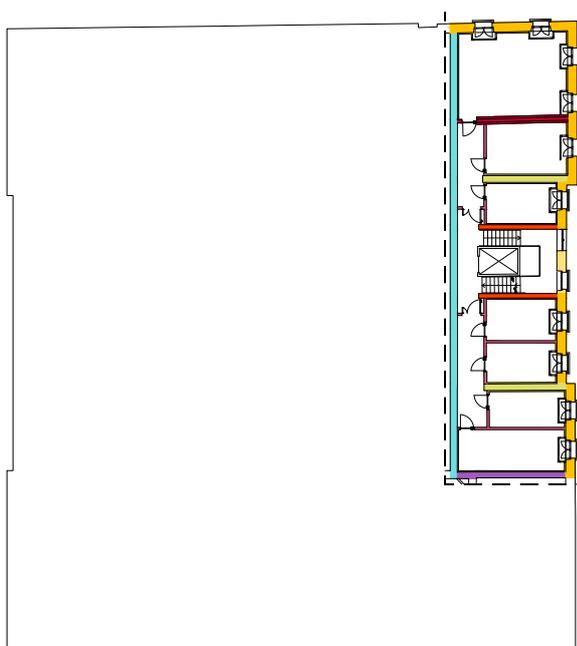
DEFINIZIONE DEI PARAMETRI TERMO-FISICI DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO OPACO



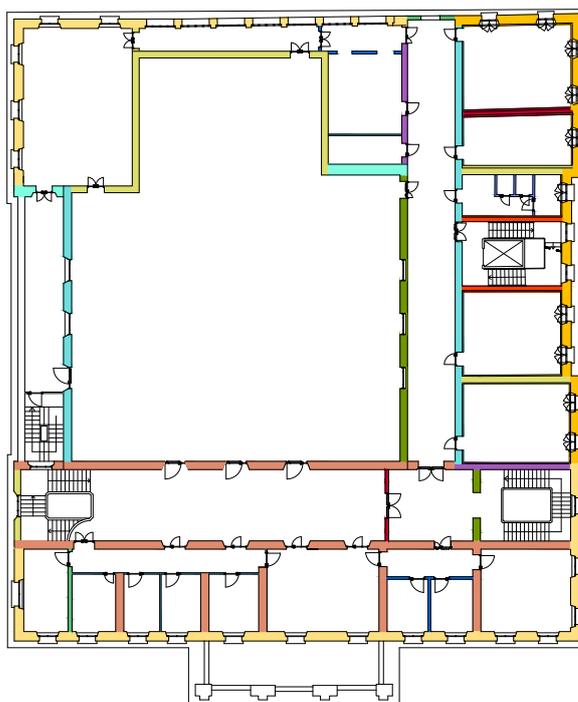
Pianta piano interrato



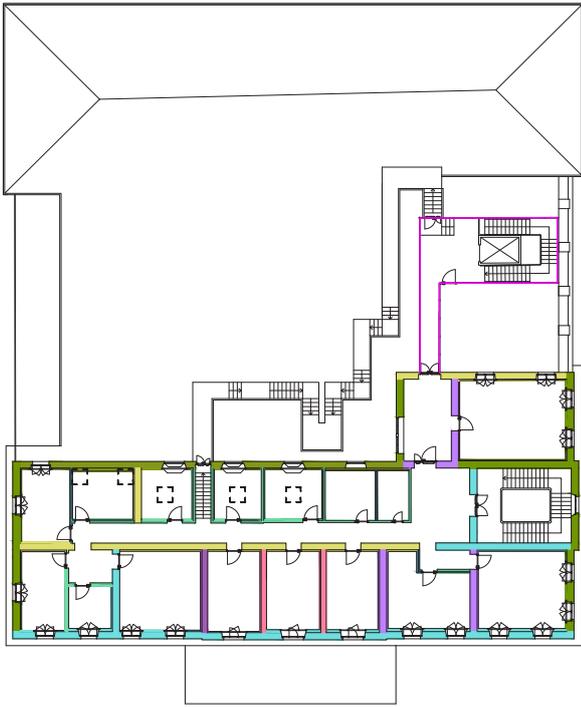
Pianta piano terra



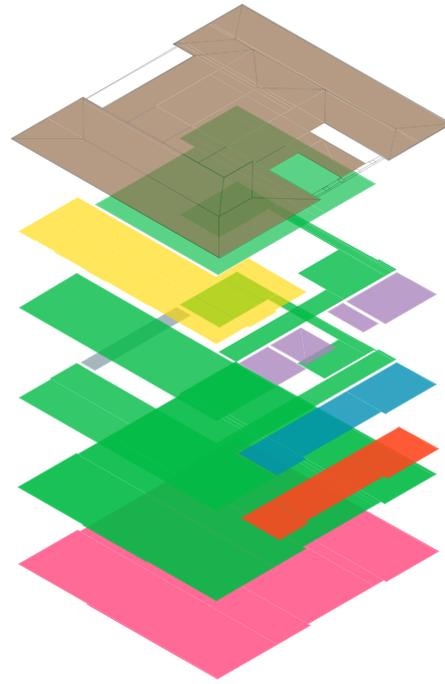
Pianta piano ammezzato



Pianta piano primo

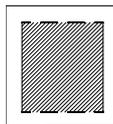
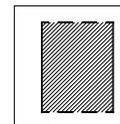
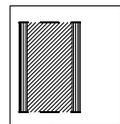
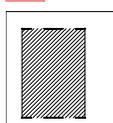
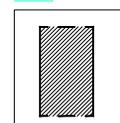
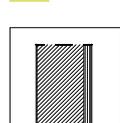
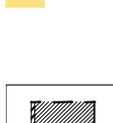
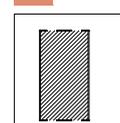
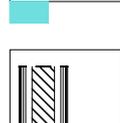
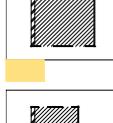
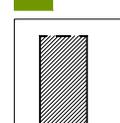
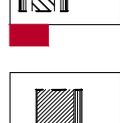
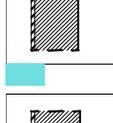
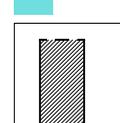
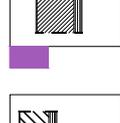
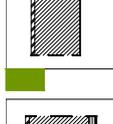
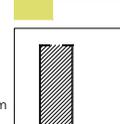
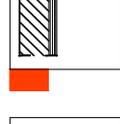
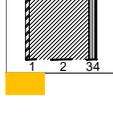
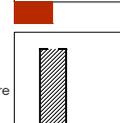
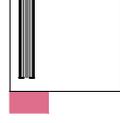
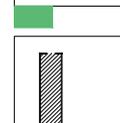
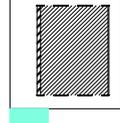
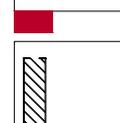
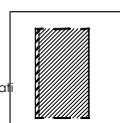
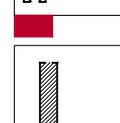
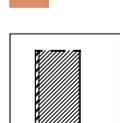


Pianta piano secondo

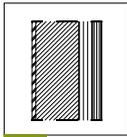


Schema solai e coperture

Chiusure verticali_Piano interrato/terra/ammezzato/primo

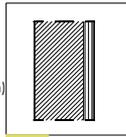
 <p>PARETE CONTRO TERRA_Spessore: 0.90m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.90m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.80m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.78m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.68m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 2. Finitura (spessore 0.015m) 3. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.50m) 4. Finitura (spessore 0.015m) 5. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE CONTRO TERRA_Spessore: 0.70m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.70m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.60m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.58m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO ISOLATA_Spessore: 0.62m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.52m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO_Spessore: 0.70m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.65m) 3. Finitura (spessore 0.010m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.55m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.53m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE DIVISORIA ACUSTICA_Spessore: 0.54m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 2. Intercapedine (spessore 0.07m) 3. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.25m) 4. Intercapedine (spessore 0.07m) 5. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO_Spessore: 0.53m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.48m) 3. Finitura (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.53m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.51m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO ISOLATA_Spessore: 0.51m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.41m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO_Spessore: 0.55m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.50m) 3. Finitura (spessore 0.010m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.50m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.48m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS. ZNR_Spessore: 0.42m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.32m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete acustica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento acustico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO ISOLATA_Spessore: 0.79m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.66m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento termico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.37m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni pieni (spessore 0.35m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE DIVISORIA ACUSTICA IN GESSO RIVESTITO_Spessore: 0.17m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 2. Isolamento acustico (spessore 0.05m) 3. Lastra di gesso rivestito (spessore 0.02m) 4. Isolamento acustico (spessore 0.05m) 5. 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO ISOLATA_Spessore: 0.79m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.66m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento termico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.30m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni pieni (spessore 0.28m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.ESTERNO_Spessore: 0.80m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.75m) 3. Intonaco (spessore 0.01m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO ISOLATA_Spessore: 0.79m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.66m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento termico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.25m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni pieni (spessore 0.23m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.60m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.55m) 3. Intonaco (spessore 0.01m)
 <p>PARETE DIVISORIA: MATTONI SEMIPIENI/FORATI_Spessore: 0.25m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.23m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.20m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni pieni (spessore 0.18m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.50m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Finitura esterna in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.45m) 3. Intonaco (spessore 0.01m)
 <p>PARETE VS.ESTERNO ISOLATA_Spessore: 0.79m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rivestimento in pietra (spessore 0.04m) 2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.66m) 3. Finitura (spessore 0.015m) 4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m) - Isolamento termico (spessore 0.05m) - 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 	 <p>PARETE VS.INTERNO_Spessore: 0.10m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco (spessore 0.01m) 2. Muratura in mattoni pieni (spessore 0.08m) 3. Intonaco (spessore 0.01m) 	 <p>NUOVA PARETE DA PROGETTO tipo A4_Spessore: 0.14m</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m) 2. Isolamento acustico (spessore 0.09m) 3. 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)

Chiusure verticali_Piano secondo



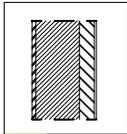
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.705m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.44m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



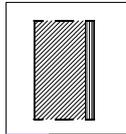
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.61m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.46m)
3. Finitura interna (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.095m)
- Isolamento termico (spessore 0.07m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



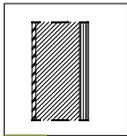
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.66m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.44m)
3. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.15m)
4. Finitura interna (spessore 0.02m)



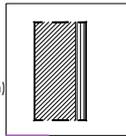
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.61m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.51m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



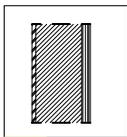
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.57m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.44m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



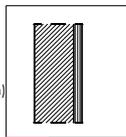
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.53m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.41m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete esistente in gesso rivestito coibentata in lana minerale (spessore 0.095m)
- Isolamento termico (spessore 0.07m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



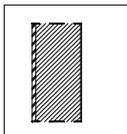
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.59m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.46m)
3. Finitura interna (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



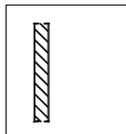
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.49m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.51m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



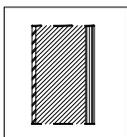
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.50m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.45m)
3. Intonaco (spessore 0.01m)



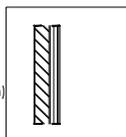
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.15m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.13m)
3. Finitura (spessore 0.01m)



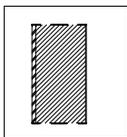
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.63m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.50m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



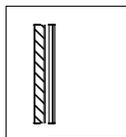
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.26m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.14m)
3. Finitura (spessore 0.015)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.095m)
- Isolamento termico (spessore 0.07m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



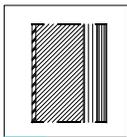
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.55m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.50m)
3. Finitura (spessore 0.010m)



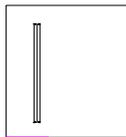
PARETE VS. INTERNO_Spessore: 0.21m

1. Finitura (spessore 0.01m)
2. Muratura in mattoni semipieni/forati (spessore 0.09m)
3. Finitura (spessore 0.015)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.095m)
- Isolamento termico (spessore 0.07m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)



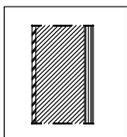
PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.755m

1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.48m)
3. Finitura (spessore 0.01m)
4. Controparete:
 - Intercapedine (spessore 0.04m)
 - Isolante esistente in lana minerale (spessore 0.085m)
 - 2x0.0125 lastre di cartongesso (spessore 0.025m)
 - Isolante termico (spessore 0.05m)
 - 0.0125x2 lastre di cartongesso (spessore 0.025m)



PARETE INFISSO VS ESTERNO_Spessore: 0.06m

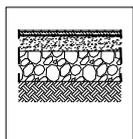
1. Vetro



PARETE VS. ESTERNO_Spessore: 0.62m

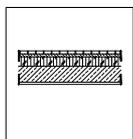
1. Rivestimento esterno in pietra (spessore 0.04m)
2. Muratura portante in mattoni pieni (spessore 0.49m)
3. Finitura (spessore 0.015m)
4. Controparete termica in gesso rivestito (spessore 0.075m)
- Isolamento termico (spessore 0.05m)
- 0.0125x2 lastre di gesso rivestito (spessore 0.025m)

Chiusure orizzontali



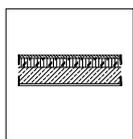
SOLAIO CONTRO TERRA spessore 0.505

1. Terreno
2. Pietrame a secco (spessore 0.30m)
3. Calcestruzzo (spessore 0.15m)
4. Membrana bituminosa (spessore 0.01m)
5. Malta di cemento (spessore 0.03m)
6. Pavimentazione interna piastrelle ceramica (spessore 0.015)



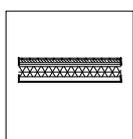
SOLAIO D'INTERPIANO (laterizio+travi in ferro) spessore 0.33

1. Pavimentazione in marmo (spessore 0.03m)
2. Massetto autolivellante in cls (spessore 0.02m)
3. Getto di cls alleggerito (spessore 0.09m)
4. Pignatte in laterizio (spessore 0.16m)
5. Intonaco interno (spessore 0.02m)



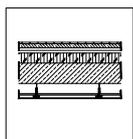
SOLAIO VERSO SOTTOTETTO (laterizio+travi in ferro) spessore 0.30

1. Pavimentazione in marmo (spessore 0.03m)
2. Massetto autolivellante in cls (spessore 0.02m)
3. Getto di cls alleggerito (spessore 0.09m)
4. Pignatte in laterizio (spessore 0.16m)
5. Intonaco interno (spessore 0.02m)



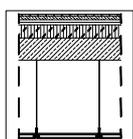
SOLAIO P. AMMEZZATO (laterizio+travi in ferro) spessore 0.24

1. Pavimento in gres (spessore 0.015)
2. Massetto di allettamento (spessore 0.03m)
3. Isolamento termoacustico (spessore 0.04m)
4. Strato portante (spessore 0.10)
 - Lamiera grecata sp. 0.05
 - Getto in cls 0.05
 - Rete metallica elettrosaldata
5. Controsoffitto (spessore 0.055)
 - Intercapedine sp. 0.0425
 - Lastra di gesso rivestito sp. 0.0125



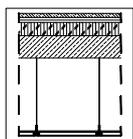
SOLAIO D'INTERPIANO P1 (aule riqualificate) spessore 0.555

1. Pavimento in gres (spessore 0.015m)
2. Massetto cls (spessore 0.04)
3. Isolamento termico (spessore 0.05)
4. Struttura profilati in acciaio e pignatte in laterizio (spessore 0.30m)
 - getto di cls alleggerito sp. 0.10
 - pignatte in laterizio sp. 0.20
3. Controsoffitto radiante (spessore 0.15m)
 - Intercapedine d'aria sp. 0.13
 - Lastre di gesso rivestito sp. 0.02



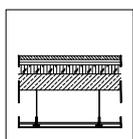
SOLAIO D'INTERPIANO P2 (aule riqualificate) spessore 1.225 VERSO AULE P2

1. Pavimento in gres (spessore 0.015m)
2. Sottofondo (spessore 0.105m)
 - Massetto autolivellante sp. 0.055
 - Isolamento termoacustico sp. 0.05
3. Solaio profilati in acciaio e pignatte in laterizio (spessore 0.35m)
 - getto di cls alleggerito sp. 0.13
 - pignatte in laterizio sp. 0.22
4. Controsoffitto radiante (spessore 0.77m)
 - Intercapedine d'aria sp. 0.75
 - Lastre di gesso rivestito sp. 0.02



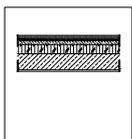
SOLAIO D'INTERPIANO P2 (aule riqualificate) spessore 1.21 VERSO SOTTOTETTO

1. Massetto cls (spessore 0.105m)
2. Isolamento termico (spessore 0.05)
3. Struttura portante profilati in acciaio e pignatte in laterizio (spessore 0.35m)
 - getto di cls alleggerito sp. 0.13
 - pignatte in laterizio sp. 0.22
4. Controsoffitto radiante (spessore 0.77m)
 - Intercapedine d'aria sp. 0.75
 - Lastre di gesso rivestito sp. 0.02



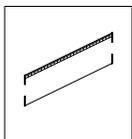
SOLAIO D'INTERPIANO P2 (aule riqualificate) spessore 0.71 VERSO SOTTOTETTO

1. Massetto cls (spessore 0.04m)
2. Isolamento termico (spessore 0.05m)
3. Struttura portante profilati in acciaio e pignatte in laterizio (spessore 0.35m)
 - getto di cls alleggerito sp. 0.09
 - pignatte in laterizio sp. 0.16
4. Controsoffitto radiante (spessore 0.37m)
 - Intercapedine d'aria sp. 0.35
 - Lastre di gesso rivestito sp. 0.02



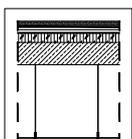
COPERTURA A TERRAZZO spessore 0.355

1. Pavimentazione - getto di cemento (spessore 0.04m)
2. Guaina impermeabile (Asfalto - bitume) (spessore 0.01m)
3. Strato di pendenza - massetto in cls (spessore 0.04m)
4. Strato portante (spessore 0.25m)
5. Finitura interna (spessore 0.01)



COPERTURA INCLINATA spessore 0.

1. Struttura portante in legno capriata+listelli+arcarecci (spessore 0.30m)
2. Tavolato in legno (spessore 0.02m)
3. Manto di copertura in lastre di zinco (spessore 0.008m)



SOLAIO D'INTERPIANO P2 (aule riqualificate) spessore 1.24 VERSO ESTERNO TERRAZZO

1. Massetto cementizio armato (spessore 0.04m)
2. Strato di separazione (spessore -)
3. Guaina impermeabile (spessore 0.01m)
4. Isolamento termico (spessore 0.05m)
5. Barriera al vapore (spessore 0.01m)
6. Strato di pendenza (spessore 0.09m)
7. Strato portante (spessore 0.22m)

CONDUTTIVITA' DEI MATERIALI

Materiale	Conduttività λ (W/mK)
Chiusure verticali	
Muratura in mattoni pieni	0,72
Muratura in mattoni semipieni/forati	0,36
Pietra calcarea compatta	0,7
Intonaco interno a base di gesso	0,35
Isolamento termico e acustico	0,04
Lastre di gesso rivestito	0,21
Aria in quiete a 20°C	0,026
Chiusure orizzontali	
Terreno (no spessore)	2
Pietrame a secco	2,3
Pignatte in laterizio	0,7
Calcestruzzo /massetto in cls	1,6
Calcestruzzo alleggerito	0,45
Massetto autoliv. in cem. per pavimenti	1,4
Cemento armato	2,3
Guaina di polietilene/bitume	0,26
Pavimentazione in marmo	3
Pavimentazione in gres	1,3
Lamiera grecata	0,037
Tavolato in legno	0,15
Lastre di zinco	110

PARETE CONTRO TERRA 0,9m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	1 Muratura mattoni pieni	0,9	0,72	1,25
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	U(W/m ² K)			0,70

PARETE CONTRO TERRA 0,7m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	1 Muratura mattoni pieni	0,7	0,72	0,97
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	U(W/m ² K)			0,88

PARETE VS ESTERNO 0,7m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	Rse	0,7		
	1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
	2 Muratura mattoni pieni	0,65	0,72	0,90
	3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	Rsi			0,13
	U(W/m ² K)			0,86

PARETE VS ESTERNO 0,53m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	Rse	0,53		0,04
	1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
	2 Muratura mattoni pieni	0,48	0,72	0,67
	3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	Rsi			0,13
	U(W/m ² K)			1,08

PARETE VS ESTERNO 0,55m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	Rse	0,55		0,04
	1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
	2 Muratura mattoni pieni	0,5	0,72	0,69
	3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	Rsi			0,13
	U(W/m ² K)			1,05

PARETE VS ESTERNO ISOLATA 0,79m				
	Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	Rse	0,79		0,04
	1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
	2 Muratura mattoni pieni	0,66	0,72	0,92
	3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
	4 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
	5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	Rsi			0,13
	U(W/m ² K)			0,39

PARETE VS INTERNO 0,8m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,8		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,78	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	1,08
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,76

PARETE VS INTERNO 0,6m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,6		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,58	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,81
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,97

PARETE VS INTERNO 0,55m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,55		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,53	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,74
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,04

PARETE VS INTERNO 0,53m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,53		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,51	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,71
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,07

PARETE VS INTERNO 0,50m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,5		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,48	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,67
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,12

PARETE VS INTERNO 0,37m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,37		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,35	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,49
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,40

PARETE VS INTERNO 0,30m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,3		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,28	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,39
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,62

PARETE VS INTERNO 0,25m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,25		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,23	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,32
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,83

PARETE DIVISORIA MATTONI SEMIPIENI/FORATI 0,25m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,25		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni semipieni/forati	0,23	0,36	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,64
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,15

PARETE VS INTERNO 0,20m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,2		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,18	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,25
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			2,10

PARETE VS INTERNO 0,1m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,1		
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,08	0,72	0,03
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,11
4			0,03
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			2,96

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,68m			
Strato	Spessore s (m)	Conduktivität λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,68		
1 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,04
2 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	0,12
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	1,25
4 Muratura mattoni pieni	0,5	0,72	0,04
5 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,69
6 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	0,04
7 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	1,25
8			0,12
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,27

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,62m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,62			
1			0,04	
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,52	0,72	0,72
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,43	

PARETE DIVISORIA ACUSTICA 0,54m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,54			
1			0,04	
1	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
2	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
3	Intercap. Aria in quiete a 20°C	0,07	0,026	2,69
4	Muratura mattoni semipieni/forati	0,25	0,36	0,69
5	Intercap. Aria in quiete a 20°C	0,07	0,026	2,69
6	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
7	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,11	

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,51m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,51			
1			0,04	
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,41	0,72	0,57
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,46	

PARETE VS ZNR 0,42m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,33			
1			0,04	
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni semipieni/forati	0,23	0,36	0,64
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,44	

PARETE DIVISORIA ACUSTICA IN GESSO RIVESTITO 0,17m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,17			
1			0,04	
1	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
2	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
3	Lastre di gesso rivestito	0,02	0,21	0,10
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,33	

PARETE VS ESTERNO 0,8m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
Rse	0,8			
1			0,04	
1	Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
2	Muratura mattoni pieni	0,75	0,72	1,04
3	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi			0,13	
U(W/m ² K)			0,77	

PARETE VS ESTERNO 0,5m			
Strato	Spessore s (m)	Conducibilità λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	0,5		
Rse			0,04
1	0,04	0,7	0,06
2	0,45	0,72	0,63
3	0,01	0,35	0,03
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			1,14

NUOVA PARETE DA PROGETTO VS INTERNO 0,14m			
Strato	Spessore s (m)	Conducibilità λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	0,14		
Rse			0,04
1	0,025	0,21	0,12
2	0,09	0,04	2,25
3	0,025	0,21	0,12
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,38

PARETE VS ESTERNO ISOLATA 0,705m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,71		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,43	0,72	0,06
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Interc. Aria	0,04	0,026	1,54
5 Isolamento termico/acustico	0,085	0,04	2,13
6 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
7 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
8 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,17

PARETE VS ESTERNO 0,65m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,65		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,44	0,72	0,06
3 Muratura mattoni semipieni/forati	0,15	0,36	0,42
4 Intonaco int. a base gesso	0,02	0,35	0,06
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,76

PARETE VS ESTERNO 0,57m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,57		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,44	0,72	0,06
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,44

PARETE VS ESTERNO 0,59m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,59		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,46	0,72	0,06
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,44

PARETE VS ESTERNO 0,50m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,5		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,45	0,72	0,06
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,14

PARETE VS ESTERNO ISOLATA 0,63m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,63		
1 Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,04
2 Muratura mattoni pieni	0,5	0,72	0,69
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,43

PARETE VS ESTERNO 0,55m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,55			
Rse				0,04
1	Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
2	Muratura mattoni pieni	0,5	0,72	0,69
3	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				1,05

PARETE VS ESTERNO ISOLATA 0,755m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,755			
Rse				0,04
1	Pietra calcarea compatta	0,04	0,7	0,06
2	Muratura mattoni pieni	0,48	0,72	0,67
3	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
4	Interc. Aria	0,04	0,026	1,54
5	Isolamento termico/acustico	0,085	0,04	2,13
6	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
7	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
8	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				0,16

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,61m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,61			
Rse				0,04
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,49	0,72	0,68
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,07	0,04	1,75
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				0,36

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,61m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,61			
Rse				0,04
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,51	0,72	0,71
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				0,43

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,53m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,53			
Rse				0,04
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,41	0,72	0,57
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,07	0,04	1,75
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				0,37

PARETE VS INTERNO ISOLATA 0,49m				
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)	
	0,49			
Rse				0,04
1	Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2	Muratura mattoni pieni	0,39	0,72	0,54
3	Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4	Isolamento termico/acustico	0,05	0,04	1,25
5	Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6				
7				
8				
9				
10				
Rsi				0,13
U(W/m ² K)				0,46

PARETE VS INTERNO 0.15m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m^2K/W)
	0,15		
Rse			0,04
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2 Muratura mattoni semipieni/forati	0,13	0,36	0,36
3 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			1,70

PARETE VS INTERNO 0.26m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m^2K/W)
	0,26		
Rse			0,04
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2 Muratura mattoni semipieni/forati	0,14	0,36	0,39
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Isolamento termico/acustico	0,07	0,04	1,75
5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,40

PARETE VS INTERNO 0.21m			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m^2K/W)
	0,21		
Rse			0,04
1 Intonaco int. a base gesso	0,01	0,35	0,03
2 Muratura mattoni semipieni/forati	0,09	0,36	0,25
3 Intonaco int. a base gesso	0,015	0,35	0,04
4 Isolamento termico/acustico	0,07	0,04	1,75
5 Lastre di gesso rivestito	0,025	0,21	0,12
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,42

SOLAIO CONTRO TERRA 0,505			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,505		
1			0
1	0	2	0,00
2	0,3	2,3	0,13
3	0,15	1,6	0,09
4	0,01	0,26	0,04
5	0,03	1,4	0,02
6	0,015	1,3	0,01
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,17
U(W/m ² K)			2,15

SOLAIO D'INTERPIANO 0,33 pavimento piano terra/solaio piano interrato			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,33		
1			0,13
1	0,02	0,35	0,06
2	0,16	0,36	0,44
3	0,09	0,45	0,20
4	0,03	1,4	0,02
5	0,03	3	0,01
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,01

SOLAIO D'INTERPIANO VERSO SOTTOTETTO 0,30			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,3		
1			0,13
1	0,02	0,35	0,06
2	0,16	0,36	0,44
3	0,09	0,45	0,20
4	0,03	1,4	0,02
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			1,02

SOLAIO P.AMMEZZATO 0,24			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,24		
1			0,13
1	0,0125	0,21	0,06
2	0,0425	0,026	1,63
3	0,05	0,037	1,35
4	0,05	1,6	0,03
5	0,04	0,04	1,00
6	0,03	1,4	0,02
7	0,015	1,3	0,01
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,23

SOLAIO D'INTERPIANO P1 aule riqualificate 0,555			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	0,545		
1			0,13
1	0,02	0,21	0,10
2	0,13	0,026	5,00
3	0,2	0,36	0,56
4	0,1	0,45	0,22
5	0,05	0,04	1,25
6	0,03	1,4	0,02
7	0,015	1,3	0,01
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,13

SOLAIO D'INTERPIANO P2 aule riqualificate 1,24			
Strato	Spessore s (m)	Conduffività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
Rse	1,24		
1			0,13
1	0,02	0,21	0,10
2	0,75	0,026	28,85
3	0,22	0,36	0,61
4	0,13	0,45	0,29
5	0,05	0,04	1,25
6	0,055	1,4	0,04
7	0,015	1,3	0,01
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m ² K)			0,03

SOLAIO D'INTERPIANO P2 aule riqualificate VERSO SOTTOTETTO 1,225			
Strato	Spessore s (m)	Conduttività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	1,225		
Rse			0,13
1	0,02	0,21	0,10
2	0,75	0,026	28,85
3	0,22	0,36	0,61
4	0,13	0,45	0,29
5	0,05	0,04	1,25
6	0,055	1,4	0,04
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,03

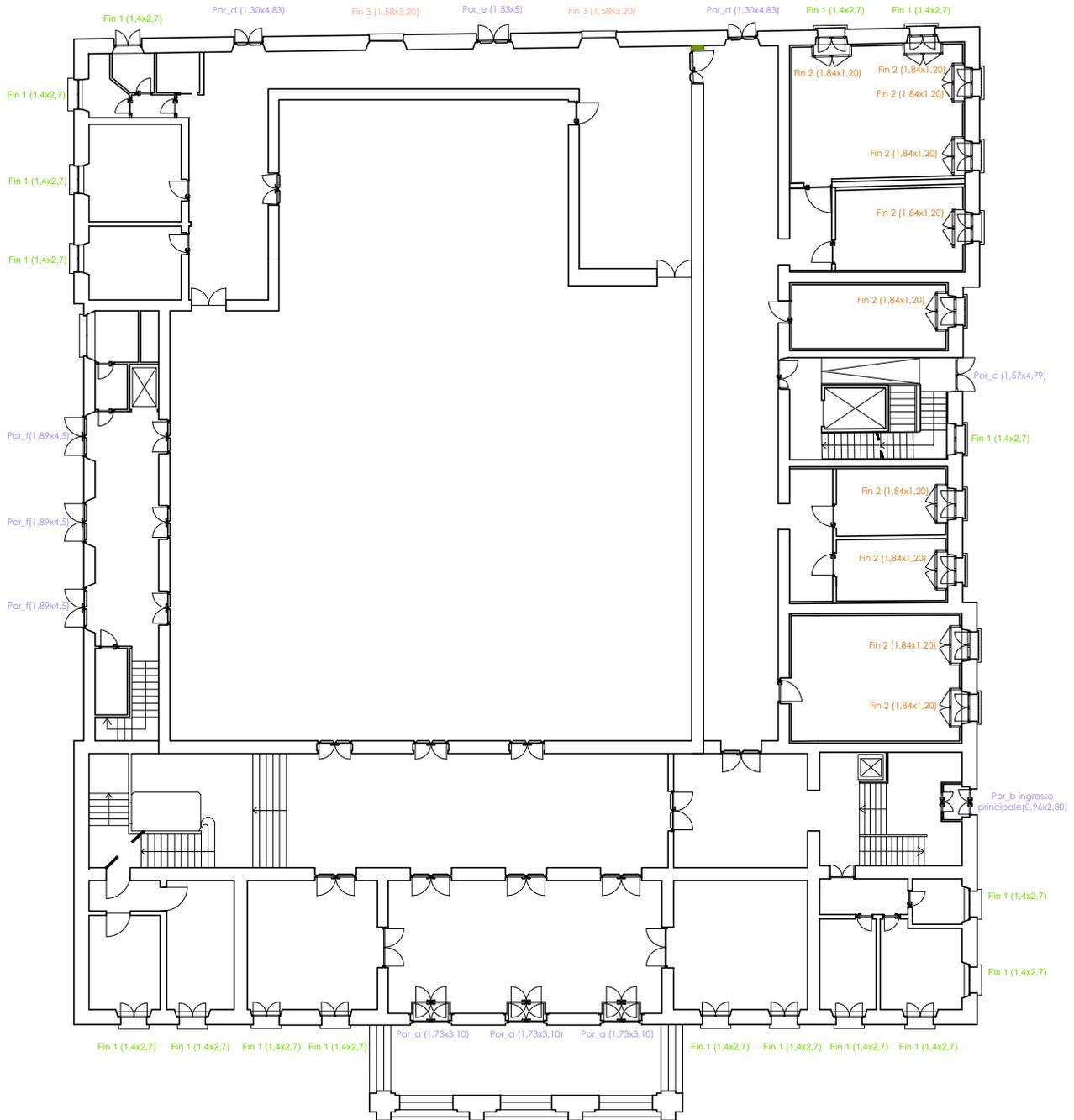
SOLAIO D'INTERPIANO P2 aule riqualificate VERSO SOTTOTETTO 0,71			
Strato	Spessore s (m)	Conduttività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	0,71		
Rse			0,13
1	0,02	0,21	0,10
2	0,35	0,026	13,46
3	0,16	0,36	0,44
4	0,09	0,45	0,20
5	0,05	0,04	1,25
6	0,04	1,4	0,03
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,06

COPERTURA A TERRAZZO 0,355			
Strato	Spessore s (m)	Conduttività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	0,35		
Rse			0,13
1	0,01	0,35	0,03
2	0,16	0,36	0,44
3	0,09	0,45	0,20
4	0,04	1,6	0,03
5	0,01	0,26	0,04
6	0,04	1,4	0,03
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,98

COPERTURA INCLINATA IN LEGNO 0,34			
Strato	Spessore s (m)	Conduttività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	0,34		
Rse			0,04
1	0,3	1,4	0,21
2	0,03	0,15	0,20
3	0,01	110	0,00
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rsi			0,1
U(W/m²K)			1,80

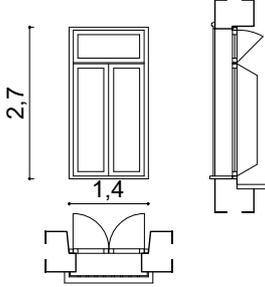
SOLAIO D'INTERPIANO P2 aule riqualificate VERSO ESTERNO - TERRAZZO 1,19			
Strato	Spessore s (m)	Conduttività λ (W/mK)	Resistenza R (m ² K/W)
	1,19		
Rse			0,13
1	0,02	0,21	0,10
2	0,75	0,026	28,85
3	0,22	0,36	0,61
4	0,09	0,45	0,20
5	0,01	0,26	0,04
6	0,05	0,04	1,25
7	0,01	0,26	0,04
8			
9	0,04	2,3	0,02
10			
Rsi			0,13
U(W/m²K)			0,03

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI TERMO-FISICI DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO TRASPARENTE

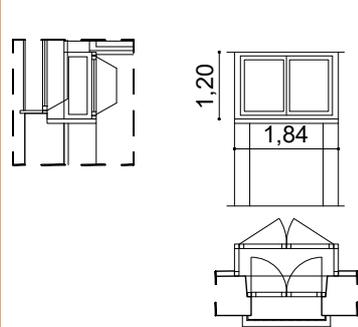


Pianta piano terra

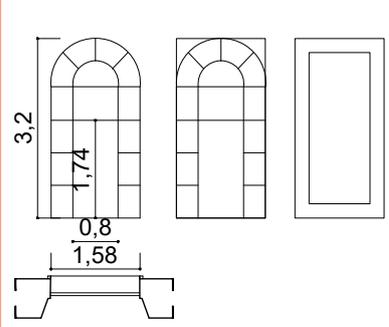
Fin 1 (1,4x2,7)



Fin 2 (1,84x1,20)

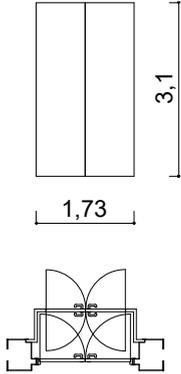


Fin 3 (1,58x3,20)

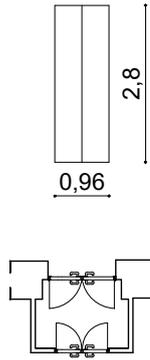


PORTE VERSO ESTERNO

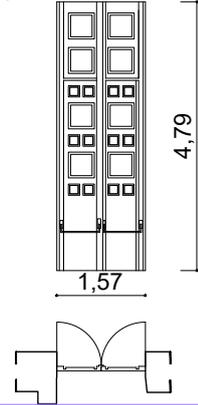
Por_a (1,73x3,10)
Sp. 0,05+0,8+0,05



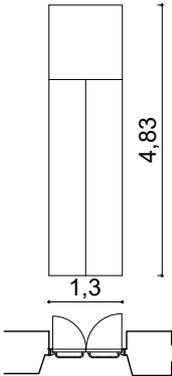
Por_b ingresso principale(0,96x2,80)
Sp. 0,054+1,2+0,054



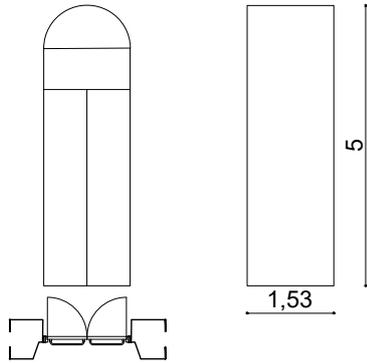
Por_c (1,57x4,79)
Sp. 0,08



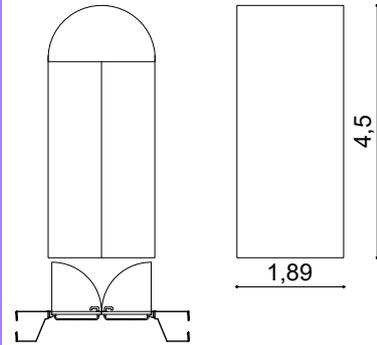
Por_d (1,30x4,83)
Sp. 0,05

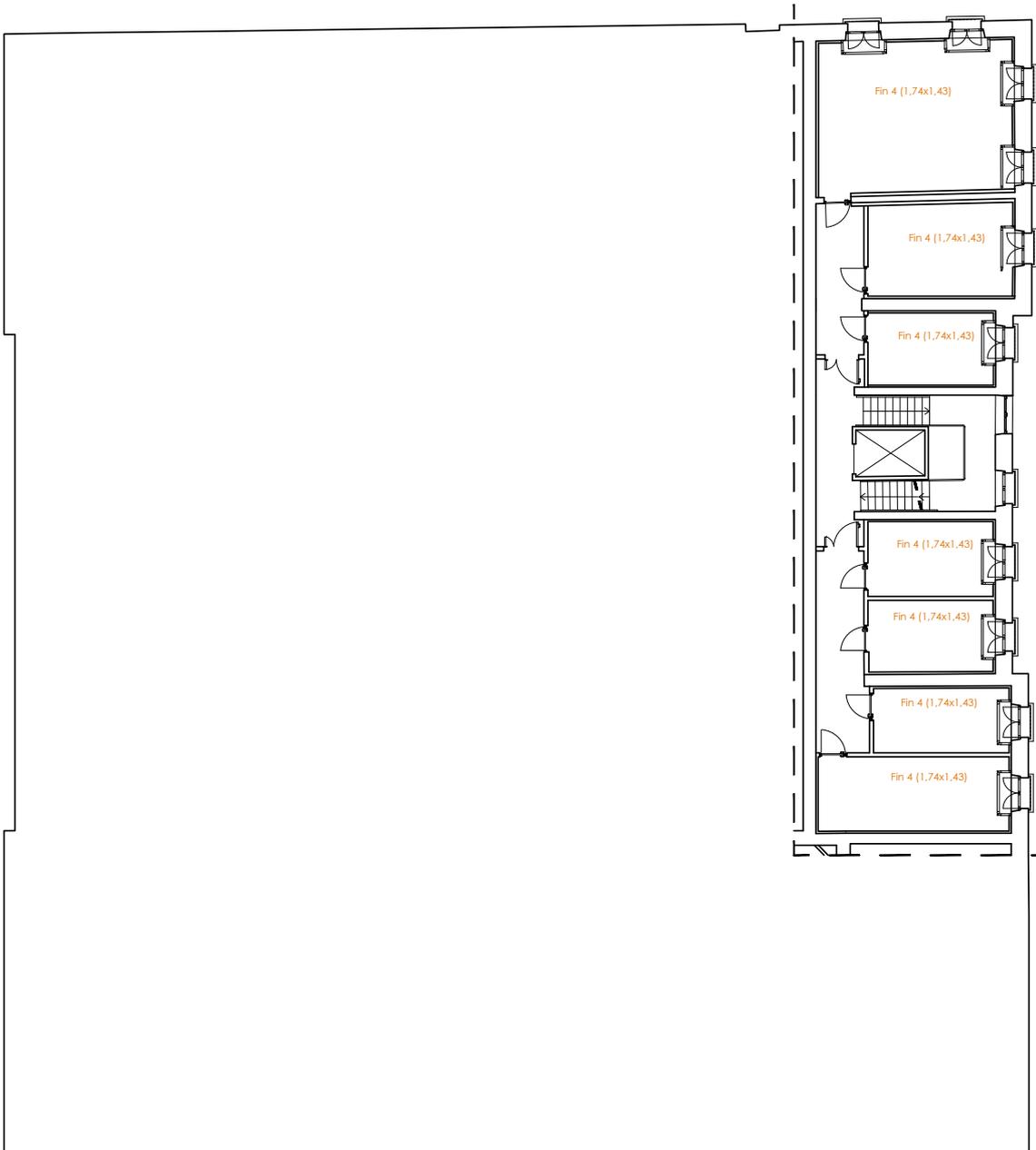


Por_e (1,53x5)
Sp. 0,05

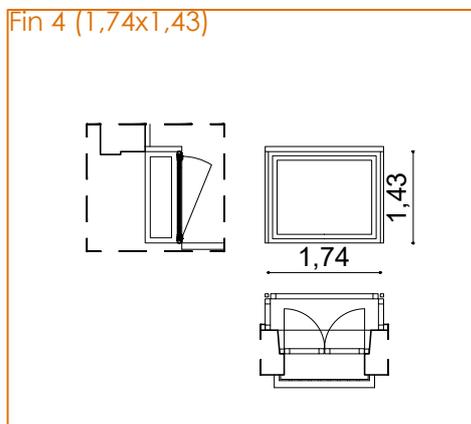


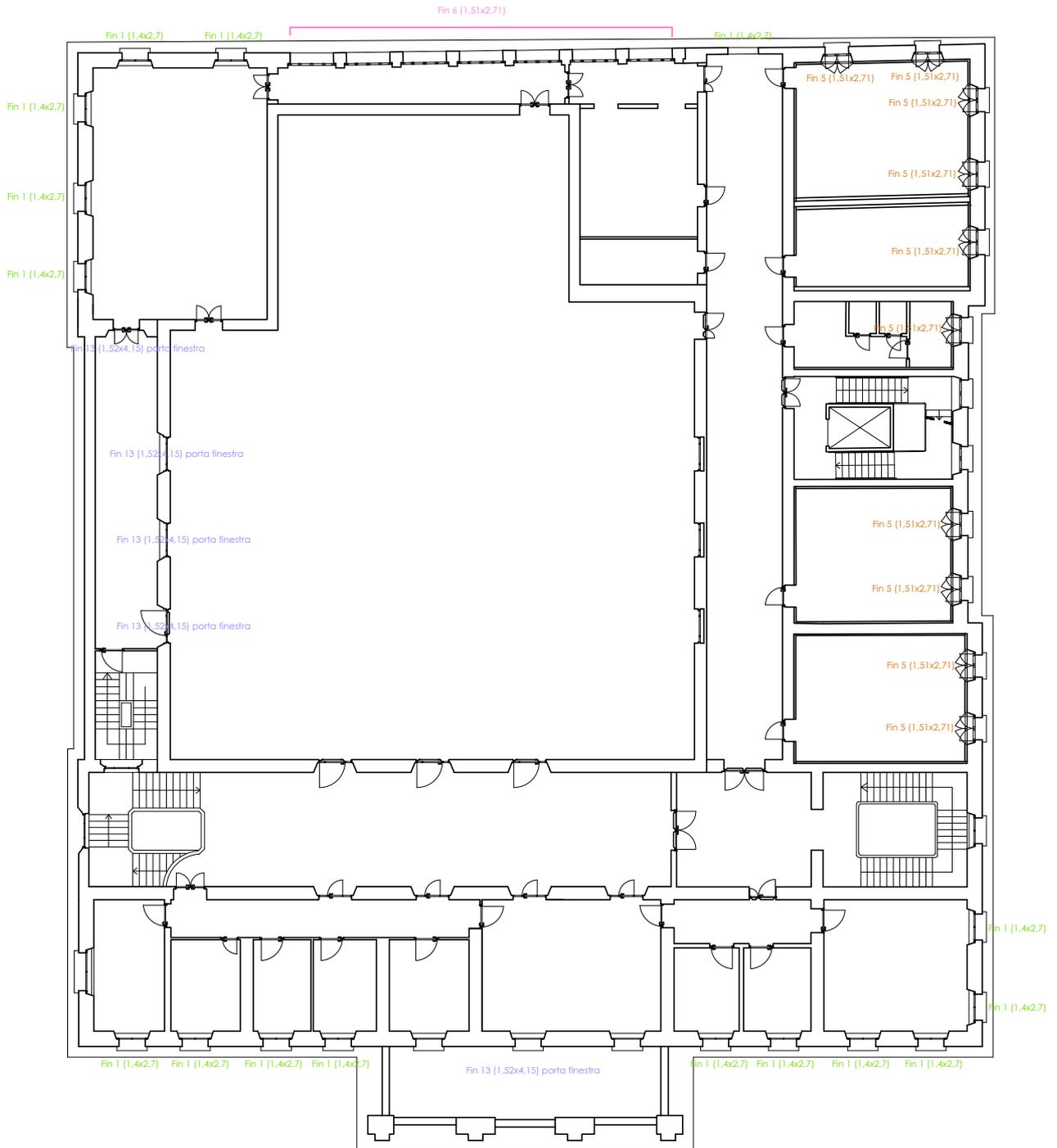
Por_f(1,89x4,5)
Sp. 0,05





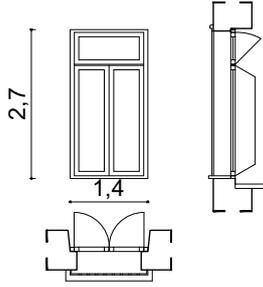
Pianta piano ammezzato



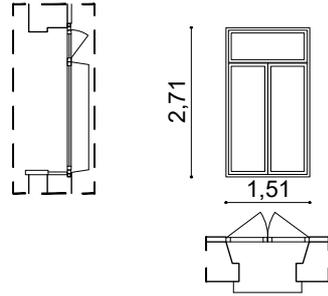


Pianta piano primo

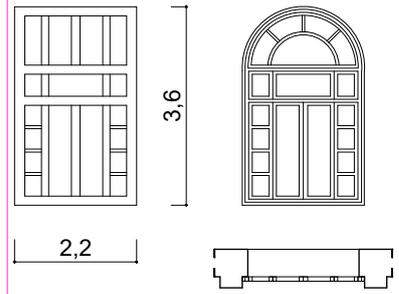
Fin 1 (1,4x2,7)



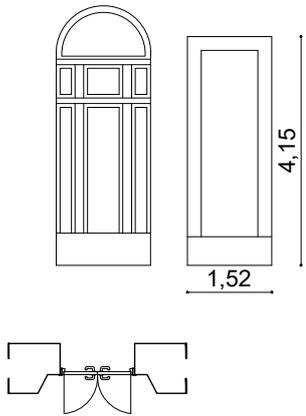
Fin 5 (1,51x2,71)

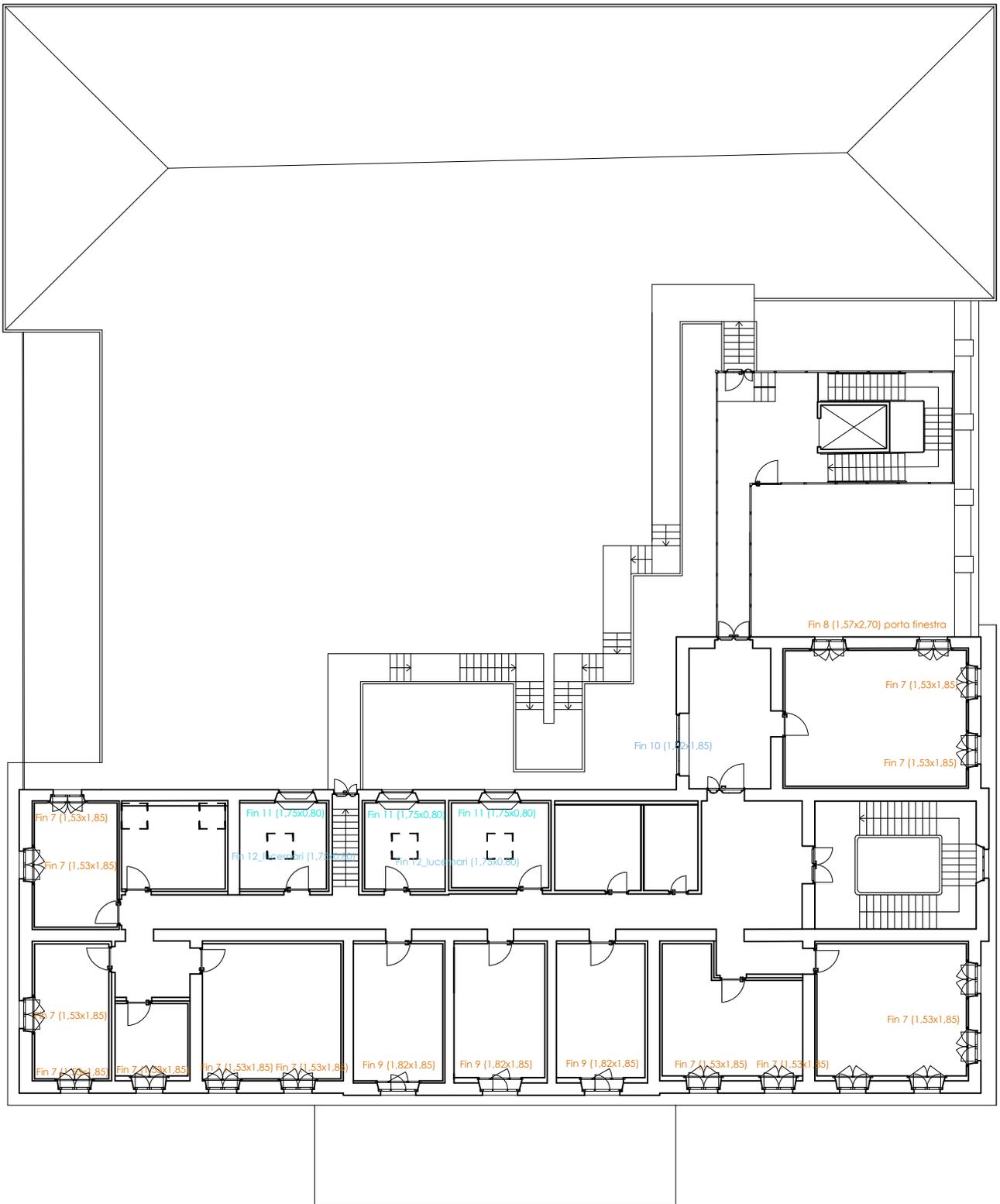


Fin 6 (1,51x2,71)



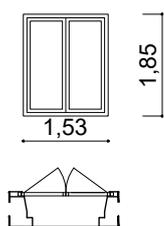
Fin 13 (1,52x4,15) porta finestra



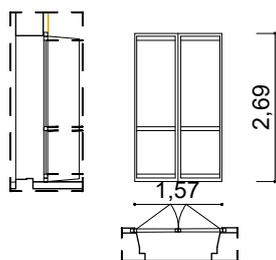


Pianta piano secondo

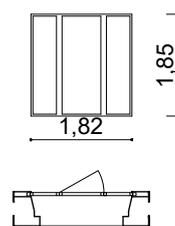
Fin 7 (1,53x1,85)



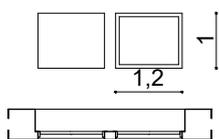
Fin 8 (1,57x2,70) porta finestra



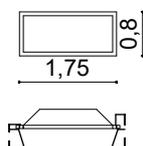
Fin 9 (1,82x1,85)



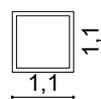
Fin 10 (1,82x1,85)



Fin 11 (1,75x0,80)



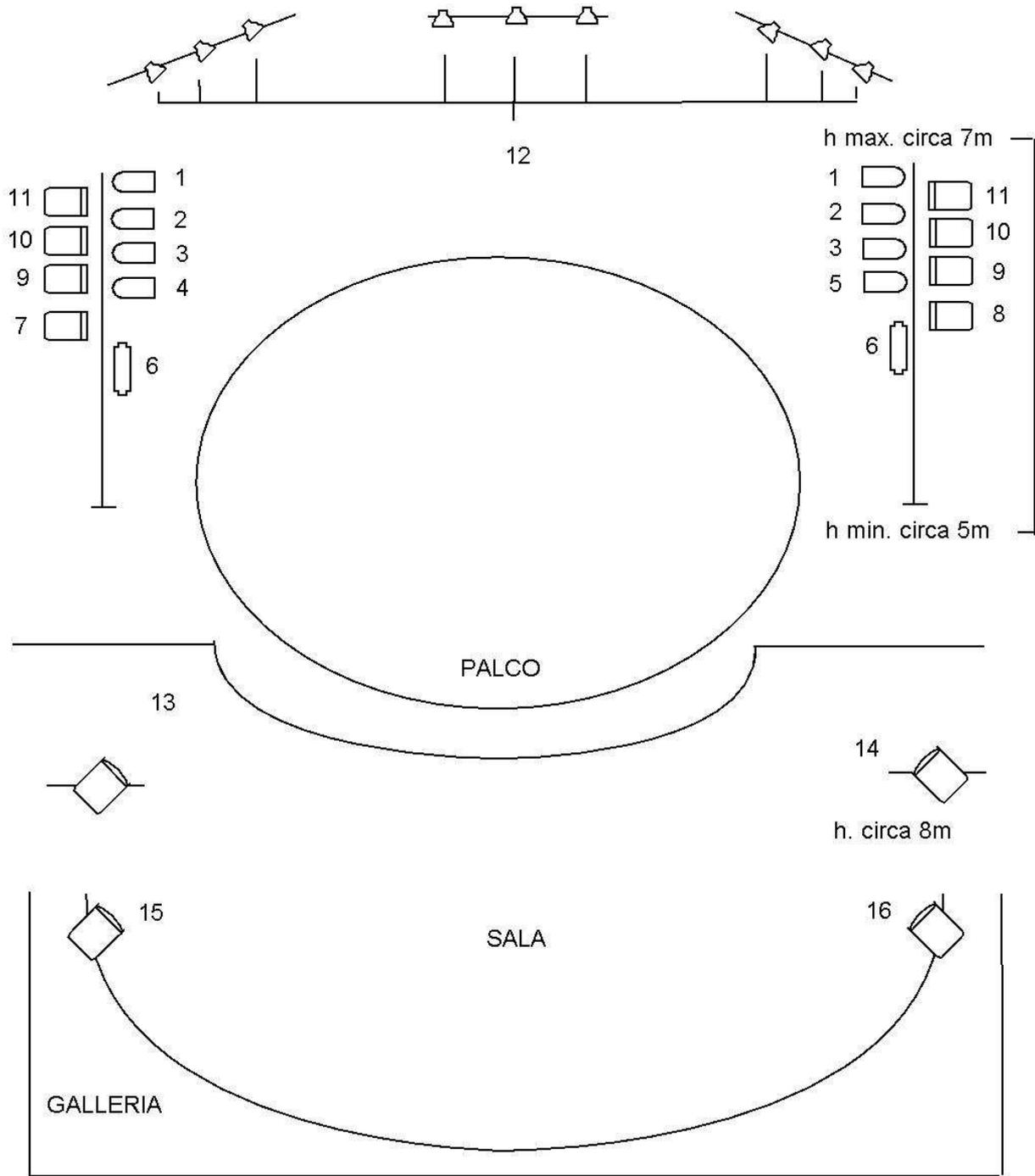
Fin 12_lucernari (1,75x0,80)



h da terra	Opening	Level	Glass type	Frame type	L x H (m)	A glass (m2)	A frame (m2)	Fraction of the total window area (0-1)	A window (m2)	U glazing (W/m2K)	U frame (W/m2K)	Visible Transmittance T _{vis}	Solar Transmittance T _{solar}	Fattore solare ggl+sh	Emissività ε	Sistema oscurante
0,8	Fin 1 (1.40x2.70)	PT	Vetro singolo 4 mm	Legno	1,40x2,70	2,15	1,63	0,43	3,78	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	BRIS
1,5	Fin 2 (1.84x1.20)	PT	Triplo vetro 4-15ar-4-15ar-4	Pvc	1,84x1,20	1,28	0,91	0,42	2,19	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	nessuno
1,6	Fin 3 (1.58x3.20)	PT	Vetro singolo 4 mm	Legno	1,58x3,20	2,9	2,1	0,42	5	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	nessuno
0,05	Fin 4 (1.74x1.43)	PA	Triplo vetro 4-15ar-4-15ar-4	Pvc	1,74x1,43	1,71	0,78	0,31	2,49	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS
0,8	Fin 1 (1.40x2.70)	P1	Vetro singolo 4 mm	Legno	1,40x2,70	2,15	1,63	0,43	3,78	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	BRIS
0,8	Fin 5 (1.51x2.71)	P1	Triplo vetro 4-15ar-4-15ar-4	Pvc	1,51x2,71	2,93	1,16	0,28	4,09	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS
0,8	Fin 6 (2.20x3.60)	P1	Vetro singolo 4 mm	Legno	2,20x3,60	3,59	4,31	0,55	7,9	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	nessuno
0	Fin 13 (1.52x4.15)	P1	Vetro singolo 4 mm	Legno	1,52x4,15	3,45	2,86	0,45	6,31	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	BRIS
0,8	Fin 7 (1.53x1.85)	P2	Triplo vetro 4-15ar-4-15ar-4	Pvc	1,53x1,85	1,84	0,99	0,35	2,83	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS
0	Fin 8 (1.57x2.70)	P2	Triplo vetro 4-15ar-4-15ar-4	Pvc	1,57x2,70	3,28	0,94	0,22	4,22	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS

h da terra	Opening	Level	Glass type	Frame type	L x H (m)	A glass (m2)	A frame (m2)	Fraction of the total window area (0-1)	A window (m2)	U glazing (W/m2K)	U frame (W/m2K)	Visible Transmittance T _{vis}	Solar Transmittance T _{solar}	Fattore solare ggl+sh	Emisività ε	Sistema oscurante
0,8	Fin 9 (1.82x1.85)	P2	Triplo vetro 4-15ar-4- 15ar-4	Pvc	1,82x1,85	2,77	0,6	0,18	3,37	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS
	Fin 10 (1.20x1)	P2	Vetro singolo 4 mm	Legno	1,20x1,00	0,93	0,27	0,23	1,2	5,8	2	0,9	0,83	0,85	0,837	BRIS
	Fin 11 (1.75x0.80)	P2	Triplo vetro 4-15ar-4- 15ar-4	Pvc	1,75x0,80	1,06	0,34	0,24	1,4	0,6	1,7	0,71	0,41	0,49	0,837	BRIS
0	Scala 3	P2	Triplo vetro 4-15ar-4- 15ar-4	Pvc	varie	varie	varie	varie	varie	varie	varie	0,71	0,41	0,49	0,837	nessuno

APPARECCHI PER L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DEL PALCO DEL SALONE DEI CONCERTI



-  PC 2Kw (qt. 4)
-  PAR CP 60 (qt. 8)
-  PC 1Kw (qt. 8)
-  FARETTI BASSO WATTAGGIO (altezza circa 2.5m-qt. 12)
-  QUARZINE BASSO WATTAGGIO (qt.2)

CLASSIFICAZIONE E DIMENSIONAMENTO DEI TERMINALI

Aule piano terra				
	Impianto aeraulico		Impianto termico (Fan-coil a pavimento)	
	Mandata	Ripresa	N elementi	Potenza (W)
Aula 1-2	2x BM (300x100) 125 mc/h	1x GR (300x150) 200 mc/h	2	1630 in freddo, 2020 in caldo
Aula 3	1x BM (300x100) 125 mc/h	(fuori nel disimpegno) 1x GR (300x150) 250 mc/h	1	1630 in freddo, 2020 in caldo
Aula 4	1x BM (300x100) 100 mc/h		1	1630 in freddo, 2020 in caldo
Aula 5	1x BM (300x100) 100 mc/h		1	1630 in freddo, 2020 in caldo
Aula 6	1x BM (300x100) 100 mc/h	(fuori nel disimpegno) 1x GR (300x150) 250 mc/h	1	1630 in freddo, 2020 in caldo
Aula 7	2x BM (300x100) 150 mc/h	1x GR (300x150) 250 mc/h	2	1630 in freddo, 2020 in caldo

Aule piano ammezzato						
	Impianto aeraulico		Impianto termico (controsoffitti radianti)			
	Mandata	Ripresa	Superficie attiva (mq)	Numero pannelli	Potenza risc. (W)	Potenza raffr. (W)
Aula 1a	1x BM (200x100) 100 mc/h	1x GR (300x150) 175 mc/h	9,36	26	982,8	889,2
Aula 2a	1x BM (200x100) 100 mc/h	(fuori nel di- simpegno) 1x GR (300x150) 175 mc/h	10,08	28	1058,4	957,6
Aula 3a	1x BM (200x100) 100 mc/h		10,05	28	1058,81	957,18
Aula 4a	1x BM (200x100) 100 mc/h		14,4	40	1058,4	957,6

Aule piano ammezzato						
Aula 5a	1x BM (200x100) 100 mc/h	(fuori nel di- simpegno) 1x GR (300x150) 200 mc/h	9	25	945	855
Aula 6a	1x BM (200x100) 100 mc/h		11,16	31	1171,8	1060,2
Aula 7a	2x BM (300x100) 150 mc/h	1x GR (300x150) 250 mc/h	29,91	83	3137,58	2838,4

Aule piano primo						
	Impianto aeraulico		Impianto termico (controsoffitti radianti)			
	Mandata	Ripresa	Superficie attiva (mq)	Numero pannelli	Potenza risc. (W)	Potenza raffr. (W)
Aula 8	1x DM (4/36) 300 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	28,4	79	2986	2702
Aula 9	1x DM (4/36) 300 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	31,72	88	3326,6	3009,4
Aula 10	1x DM (1/20) 250 mc/h	1x DR (200x200) 200 mc/h	14,4	40	1512,43	1367,5
Aula 11	1x DM (4/36) 300 mc/h	1x DR (200x200) 250 mc/h	35,28	97	3701,7	3348,8
WC		1x V-as (150) 150 mc/h				
		2x V-as (150) 100 mc/h				

Aule piano secondo						
	Impianto aeraulico		Impianto termico (controsoffitti radianti)			
	Mandata	Ripresa	Superficie attiva (mq)	Numero pannelli	Potenza risc. (W)	Potenza raffr. (W)
Aula 13	1x DM (3/24) 250 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	27,7	77	2911	2633
Aula 14	1x DM (3/24) 250 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	29,9	83	3137	2839
Aula 15	2x DM (1/20) 100 mc/h	1x DR (300x300) 150 mc/h	14,4	40	1512,43	1367,5
Aula 16	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (200x200) 100 mc/h	14,4	40	1512,43	1367,5

Aule piano secondo						
Aula 16 bis	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (200x200) 100 mc/h	14,4	40	1512,43	1367,5
Aula 18	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (200x200) 100 mc/h	14,4	40	1512,43	1367,5
Aula 19	1x DM (3/24) 250 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	23,4	65	2457	2223
Aula 20	1x DM (1/20) 100 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	4,34	12	453,7	410,3
Aula 21	1x DM (1/20) 250 mc/h	1x DR (200x200) 200 mc/h	7,6	21	794	718
Aula 22	1x DM (1/20) 250 mc/h	1x DR (200x200) 200 mc/h	10,4	29	1096	992
Aula 23	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (200x200) 100 mc/h	7,54	21	794,1	717,88
Aula 24	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	4,3	12	453,7	410,3
Aula 25	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	3,6	10	378	342
Aula 26	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (300x300) 200 mc/h	7,2	20	756	684
Wc1	Griglia di transito 200 mc/h	2x V-as (150) 100 mc/h	Radiatore x1			
Wc2	Griglia di transito 350 mc/h	2x V-as (150) 100 mc/h	Radiatore x1			
		1x V-as (150) 150 mc/h				
Corridoio	1x DM (3/24) 250 mc/h	1x DR (500x150) 400 mc/h	Radiatore x2			
Locale servizio	1x DM (1/20) 150 mc/h	1x DR (300x300) 150 mc/h	Radiatore x1			

Dimensionamento radiatori				
	Φ_N (W) per $\Delta T = 50^\circ\text{C}$	n	Φ	
0,66 (0, 760) cm	124,6	1,32	124,6	
0,86 (0,955) cm	152,6	1,34	152,6	
ΔT ($^\circ\text{C}$)	t° ingresso ($^\circ\text{C}$)	t° uscita ($^\circ\text{C}$)	t° ambiente ($^\circ\text{C}$)	t° mandata ($^\circ\text{C}$)
50	80	60	20	70

Modello radiatori in ghisa Savoy_ Ideal clima.

Dimensionamento multisplit			
UNITA' ESTERNA AOYG30LAT4 4x1 (da 3 a 4 unità interne collegabili)			
Capacità nominale (min-max) (kW)	Raffrescamento	8,0 (3,55-10,1)	
	Riscaldamento	9,6 (3,7-12,0)	
EER (-)	Raffrescamento	3,6	
COP (-)	Riscaldamento	4	
Unità interne a parete, modello ASYG12LMCE_3NGF8292			
Potenza (kW)		2,5	3,5
Portata d'aria (mc/h)	Raffrescamento H/M/L/Q	600/520/430/310	660/560/450/310
	Riscaldamento H/M/L/Q	600/520/430/330	660/560/470/330

Piano terra					
	N° elementi	N° elementi	Altezza (m)	Larghezza (m)	Potenza (W)
Scala 1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	2441,6
	1 radiatore in ghisa con termovalvola	23	0,86	135	3509,8
Wc1_pt	1 radiatore in ghisa con termovalvola	12	0,66	0,7	1495,2
Cucina	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492
Magazzino	1 radiatore in ghisa con termovalvola	12	0,66	0,7	1495,2
Guardaroba	2 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	4883,2
Ingresso auilico	3 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	7324,8
Biglietteria	2 radiatore in ghisa con termovalvola	15	0,66	0,87	1869

Piano terra					
Aula b	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246
Aula a	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492
Reception pt	1 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	2441,6
Foyer pt	1 radiatore in ghisa con termovalvola	22	0,66	1,28	2741,2
Corridoio 1_pt	2 radiatore in ghisa con termovalvola	25	0,86	1,48	3815
Corridoio 2_pt	2 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492
Wc2_pt	3 radiatore in ghisa con termovalvola	7	0,66	0,4	872,2
Aula c	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492
Aula d	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492
Corridoio 3_pt	1 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	2441,6

Piano primo							
	N° elementi	N° elementi	Altezza (m)	Larghezza (m)	Potenza (W)	N° elementi	Potenza (kW)
Ufficio 1	2 radiatore in ghisa con termovalvola	18	0,66	1,06	2242,8	1 unità interna	3,5
Ufficio 2	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246	1 unità interna	3,5
Ufficio 3	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246	1 unità interna	3,5
Ufficio 4	2 radiatore in ghisa con termovalvola	18	0,66	1,06	2242,8	1 unità interna	3,5
Ufficio 5	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246	1 unità interna	3,5

Piano primo							
Ufficio 6	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246	1 unità interna	3,5
Ufficio 7	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246	1 unità interna	3,5
Ufficio 8	2 radiatore in ghisa con termovalvola	23	0,66	1,35	2865,8	1 unità interna	3,5
Wc uffici	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246		
Reception p1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	6	0,86	0,34	915,6		
Foyer p1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,66	1,18	2492		
	1 radiatore in ghisa con termovalvola	17	0,86	0,89	2594,2		
Corridoio 1_p1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	20	0,86	1,18	3052		
Wc2_p1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	10	0,66	0,58	1246		
Sala direttore	2 radiatore in ghisa con termovalvola	18	0,66	1,06	2242,8		
Corridoio 2a	1 radiatore in ghisa con termovalvola	22	0,66	1,28	2741,2		
Corridoio 2b	3 radiatore in ghisa con termovalvola	22	0,66	1,28	2741,2		
Saletta concerti	4 radiatore in ghisa con termovalvola	19	0,66	1,12	9469,6		
Scala 1 p1	1 radiatore in ghisa con termovalvola	16	0,86	93	2441,6		