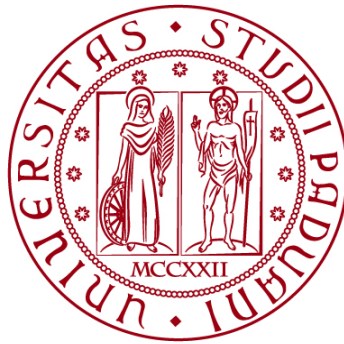


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

**ANALISI DI INTEROPERABILITÀ TRA MODELLI BIM E
AMBIENTI DI SIMULAZIONE ENERGETICA: STANDARD IFC
PER LA DIGITALIZZAZIONE DI PONTI TERMICI E
OMBREGGIAMENTI**

Relatore:
Prof. CARLO ZANCHETTA

Laureanda:
ELISABETTA PRESA
1151813

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

ABSTRACT	1
INTRODUZIONE	3
CAPITOLO PRIMO LA DIAGNOSI ENERGETICA DEGLI EDIFICI	5
1 LA SIMULAZIONE ENERGETICA	5
1.1 <i>Simulazione energetica in regime stazionario o semi-stazionario</i>	5
1.2 <i>Simulazione energetica in regime dinamico</i>	6
2 LA DIAGNOSI ENERGETICA	7
2.1 <i>Il responsabile della diagnosi energetica</i>	7
2.2 <i>Requisiti della diagnosi energetica</i>	8
2.3 <i>Fasi operative</i>	8
2.4 <i>Livelli di dettaglio</i>	15
2.5 <i>Differenze con l'Attestato di Prestazione Energetica (APE)</i>	16
3 QUADRO NORMATIVO	18
3.1 <i>Quadro normativo europeo</i>	18
3.2 <i>Quadro normativo italiano</i>	20
3.3 <i>Validazione dei software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici</i>	31
CAPITOLO SECONDO TRASMISSIONE DEL CALORE E PONTI TERMICI	35
1 INTRODUZIONE	35
2 MODALITÀ DI TRASMISSIONE DEL CALORE	35
2.1 <i>Conduzione</i>	35
2.2 <i>Convezione</i>	39
2.3 <i>Irraggiamento</i>	40
3 PONTI TERMICI	42
3.1 <i>Tipologie di ponti termici</i>	43
3.2 <i>Trasmittanza termica media e coefficiente di scambio termico globale</i>	45
3.3 <i>Incidenza sui consumi energetici</i>	46
3.4 <i>Conseguenze della presenza dei ponti termici</i>	47
3.5 <i>Quadro normativo</i>	48
4 OMBREGGIAMENTI	51
4.1 <i>Il fattore di riduzione per ombreggiatura</i>	51
CAPITOLO TERZO STRUMENTI OPERATIVI	53
1 INTRODUZIONE	53
2 EDILCLIMA	53
2.1 <i>EC700 Calcolo prestazioni energetiche degli edifici</i>	53
2.2 <i>EC709 Ponti termici</i>	54
2.3 <i>Mold Simulator (Dartwin)</i>	55
2.4 <i>EC720 Diagnosi energetica ed interventi migliorativi</i>	55
2.5 <i>EC770 Integrated Technical Design for Revit</i>	56
3 ALTRI SOFTWARE PER L'ANALISI ENERGETICA	56
3.1 <i>Energy Plus</i>	56
3.2 <i>Green Building Studio</i>	58
3.3 <i>MC4Suite</i>	58
3.4 <i>TerMus</i>	58

3.5	<i>Termolog</i>	59
3.6	<i>Virtual Environment</i>	59
3.7	<i>Confronto tra software</i>	60

CAPITOLO QUARTO STANDARD APERTI PER LO SCAMBIO DI DATI.....61

1	INTRODUZIONE	61
2	OPENBIM	62
3	INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)	62
3.1	<i>Storia dello standard IFC</i>	63
3.2	<i>Architettura dello schema di dati IFC</i>	63
3.3	<i>Formati file IFC</i>	70
3.4	<i>Model View Definition (MVD)</i>	71
4	GREEN BUILDING EXTREME MARKUP LANGUAGE (gbXML)	72
4.1	<i>Schema XML</i>	73
4.2	<i>Differenze gbXML e IFC</i>	74
5	STANDARD IFC PER L'ANALISI ENERGETICA	75
5.1	<i>Space Boundaries</i>	77

CAPITOLO QUINTO SPERIMENTAZIONE83

1	CASO STUDIO	83
1.1	<i>Descrizione architettonica</i>	84
1.2	<i>Descrizione materica</i>	85
2	CREAZIONE DEL MODELLO	88
2.1	<i>Restituzione del modello architettonico</i>	88
2.2	<i>Creazione del modello energetico (BEM)</i>	91
2.3	<i>Creazione impianto di riscaldamento e ACS</i>	95
2.4	<i>Mappatura parametri IFC</i>	96
2.5	<i>Classificazione OmniClass</i>	99
3	ESPORTAZIONE IFC	101
3.1	<i>Prova importazione IFC in EC700</i>	101
3.2	<i>Creazione configurazione personalizzata</i>	109
4	IMPORTAZIONE IFC IN EC700	110
4.1	<i>Posizionamento del progetto</i>	110
4.2	<i>Associazione materiali</i>	111
4.3	<i>Locali e vani</i>	115
4.4	<i>Impianti</i>	118
5	DIAGNOSI ENERGETICA	119
5.1	<i>Maschera Dati generali</i>	120
5.2	<i>Maschera Componenti involucro</i>	121
5.3	<i>Maschera Input grafico</i>	130
5.4	<i>Maschera Serre/Locali non climatizzati</i>	132
5.5	<i>Maschera Zone/Locali climatizzati</i>	132
5.6	<i>Maschera Impianti</i>	132
5.7	<i>Risultati fabbricato</i>	133
5.8	<i>Maschera Attestati energetici</i>	135
5.9	<i>Maschera Interventi migliorativi</i>	136
5.10	<i>Inserimento isolante in EC700</i>	137
5.11	<i>Ipotesi di isolamento copertura</i>	138
6	IMPORTAZIONE IN EC700 TRAMITE EC770	138
6.1	<i>Assegnazione parametri</i>	140
6.2	<i>Vani</i>	144
6.3	<i>Materiali</i>	145
6.4	<i>Input grafico EC770</i>	148
6.5	<i>Calcolo manuale ombreggiamenti</i>	148

6.6	<i>Porte opache e porte finestrate</i>	149
7	CONFRONTO CON ALTRI SOFTWARE	150
CAPITOLO SESTO CONCLUSIONI.....		155
APPENDICI.....		157
APPENDICE 1		157
BIBLIOGRAFIA		163
INDICE DELLE TABELLE		169
INDICE ICONOGRAFICO.....		171

Il tema dell'interoperabilità tra software è molto sentito nell'ambito del settore delle costruzioni, in quanto porterebbe a una significativa riduzione di tempi e costi. La tesi si propone di andare ad analizzare questo aspetto negli ambienti di simulazione energetica; in particolare, si va a esaminare il grado di interoperabilità tra il software BIM authoring, Revit, e il software di analisi energetica di Edilclima, per arrivare, se possibile, alla digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti, che caratterizzano il comportamento energetico dell'involucro degli edifici.

Per il raggiungimento dei risultati preposti si è deciso di svolgere una diagnosi energetica sull'edificio oggetto di studio. Il primo capitolo della tesi tratta, per questo motivo, il tema della simulazione e della diagnosi energetica, spiegandone le fasi e le finalità.

Successivamente ci si focalizza sul tema dell'involucro, e si compie un approfondimento, perciò, sui ponti termici: come si formano, come vanno a influire negativamente sulle prestazioni energetiche e a quali conseguenze possono portare.

Introdotta quindi la disciplina, si illustrano quali sono i software maggiormente utilizzati per il compimento di un'analisi energetica, con un particolare focus su Edilclima e il suo software EC700 "Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici", del quale si vuole indagare il grado di interoperabilità con i software di BIM authoring. A questo tema è collegato quello degli standard per l'interscambio di dati, e in particolare i formati aperti IFC e gbXML, dei quali se ne approfondisce la struttura al capitolo quarto della tesi.

Si sottolinea l'importanza dell'utilizzo del Building Information Modeling come tecnologia dalla quale è possibile generare file in formato aperto, i quali facilitano lo scambio di informazioni, senza che vengano persi dati da un software all'altro.

Il software EC700, prodotto dalla software-house Edilclima, ha la possibilità di importare come file di input, un IFC. All'interno di questo tipo di file è possibile inserire molte informazioni, anche di carattere energetico; si vuole quindi andare a conoscere quali informazioni vengono trasmesse da questo tipo di file, generato con Revit, al software EC700, e quali sono particolarmente necessarie ai fini dell'analisi che si vuole svolgere.

Le metodologie per svolgere per realizzare un'analisi energetica realizzando la geometria e popolando il modello di informazioni nel software di authoring sono due. La prima, come accennato, è quella di realizzare il modello BIM, esportare un file IFC di esso, e importarlo successivamente nel software di analisi; la seconda si serve invece di un plug-in per Revit, EC770, realizzato sempre dalla software-house Edilclima. Questo secondo iter proposto non si serve di formati aperti come l'IFC, ma esporta direttamente un file leggibile dal programma EC700.

Al fine di esplorare dettagliatamente il software EC700, per studiare quale metodo è effettivamente più funzionale, è stata svolta la diagnosi energetica. I risultati dei due metodi, ottenuti realizzando una diagnosi energetica su un edificio esistente, sono stati poi comparati, e per ognuno

di essi si possono elencare alcuni punti positivi e altri negativi. Tramite l'esportazione di un file IFC e la successiva importazione di esso all'interno del software EC700, vengono trasmesse tutte le informazioni di carattere geometrico necessarie allo svolgimento dei calcoli, le informazioni sul posizionamento dei vani termici e sull'estensione delle zone termiche che li contengono. Non è possibile importare informazioni relative ai ponti termici e agli ombreggiamenti dell'edificio, che vengono invece calcolati in EC700. L'importazione tramite il plug-in invece non richiede la creazione di un file in formato IFC, e grazie a questo strumento è possibile assegnare, in Revit, le informazioni riguardanti i ponti termici e gli ombreggiamenti, che poi vengono importate in EC700.

Alcuni sviluppi futuri in relazione alla ricerca qui presentata possono essere lo svolgimento di analisi energetiche con altri software importando file in formato IFC, ma anche lo studio più approfondito, e il seguente utilizzo, del formato aperto gbXML. Non si esclude la possibilità di utilizzare anche software, ad esempio EnergyPlus, che richiedono come input un formato ancora diverso, il quale possa essere generato utilizzando come strumento di partenza un software BIM. In questo modo sarà possibile fare uno studio dei diversi risultati per capire i diversi gradi di interoperabilità tra software e valutare le carenze e i punti di forza dei vari casi esaminati.

Il continuo sviluppo di formati di dati aperti ha lo scopo di ridurre i tempi e i costi di un flusso di lavoro il cui iter comprende l'utilizzo di due o più software. Grazie a essi è possibile partire da un software di BIM authoring per la modellazione di un sistema-edificio e assegnare determinate informazioni necessarie per analisi successive. Successivamente si può esportare il file contenente solo le informazioni di carattere relativo all'analisi che si deve svolgere, e quindi filtrare le informazioni inserite, in modo da economizzare le dimensioni di tale file, per importarlo nei diversi software di analisi, necessari a studi successivi del sistema.

L'utilizzo di file IFC è stato pensato appositamente per l'interoperabilità tra più software che lo supportano. Il problema di questo formato aperto per l'interscambio di dati è la mancanza di cultura in merito. La mancanza di conoscenza del potenziale di questo formato, porta al seguimento di un flusso di lavoro che si ripete inutilmente. Prendendo come esempio, nello specifico, i software Revit ed Edilclima, se non si usasse il formato IFC per l'esportazione del modello architettonico da Revit, il lavoro da compiere sarebbe il doppio poiché sarebbe necessario, successivamente, ridisegnare la geometria del modello all'interno di Edilclima, e riassegnare informazioni che si possono già assegnare in Revit.

Capire come poter esportare un file IFC per il compimento di un'analisi energetica è il fulcro di questo lavoro di tesi. A questo proposito è fondamentale che l'involucro dell'edificio, ovvero la sua superficie disperdente, venga caratterizzata al meglio. Per questo motivo è importante capire se e come è possibile l'assegnazione di ponti termici e ombreggiamenti all'interno di Revit per la successiva esportazione di un file IFC completo. Vengono illustrati nei primi capitoli della tesi: diagnosi e simulazione energetica, ponti termici e ombreggiamenti, strumenti operativi e formati aperti per l'interscambio di dati per l'analisi energetica. Si vogliono fornire le basi necessarie alla comprensione della sperimentazione successivamente svolta, specialmente riguardo i formati aperti.

L'obiettivo al quale si vuole, pertanto, arrivare è la definizione di una metodologia di esportazione da Revit, o da un altro software BIM, di un file di interscambio di dati, in modo da permettere la facilitazione del flusso di lavoro ed evitarne la ridondanza.

1 LA SIMULAZIONE ENERGETICA

La simulazione energetica di un edificio è l'analisi che si compie su quest'ultimo per ottenere le informazioni energetiche del sistema edificio-impianto quando è sottoposto a determinate sollecitazioni.

Per sistema edificio-impianto si intende un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito dalle strutture interne, che lo ripartiscono, e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno. Il termine può riferirsi a un intero fabbricato e relativi impianti come anche a parti di fabbricati progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliare a sé stanti.¹

Per lo svolgimento di questa analisi è necessario realizzare un modello numerico che riesca a descrivere le caratteristiche dell'edificio e degli impianti a partire dalle informazioni geometriche e termofisiche dell'edificio e dalle informazioni prestazionali degli impianti.

Esistono due metodologie di calcolo:

- in regime stazionario o semi-stazionario;
- in regime dinamico.

1.1 Simulazione energetica in regime stazionario o semi-stazionario

Nel caso di simulazione energetica in regime stazionario l'intervallo di tempo che si considera coincide con la stagione di riscaldamento o con quella di raffrescamento; per la simulazione in regime semi-stazionario invece coincide con un singolo mese.

Il modello numerico creato per questo tipo di simulazioni prevede che l'energia si trasferisca tra edificio e ambiente esterno in condizioni costanti. Le modalità di utilizzo dell'edificio e le condizioni climatiche non sono pertanto variabili in questo caso. Il calcolo energetico che viene effettuato con questo tipo di simulazione è un semplice bilancio termico tra l'interno e l'esterno dell'edificio, in cui la trasmittanza dell'involucro edilizio rallenta il flusso di calore che si genera dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno.

Si calcola, in sostanza, la potenza media trasferita attraverso l'involucro con condizioni e apporti termici medi. Il fabbisogno energetico dell'involucro edilizio si calcola moltiplicando il valore

¹ UNI/TS 11300-1:2014

ottenuto per il periodo coincidente all'intervallo temporale di simulazione, nel caso di simulazione in regime semi-stazionario, o sommando i contributi di tutti i mesi nel caso di regime stazionario.

È possibile calcolare anche il consumo energetico, sulla base del fabbisogno energetico dell'involucro, grazie all'utilizzo di fattori di correlazione che permettono di tenere in considerazione la tipologia di sistema impiantistico.²

1.2 Simulazione energetica in regime dinamico

La simulazione energetica dinamica è la disciplina che studia la complessità dei sistemi edificio utilizzando software più avanzati del calcolo semi-stazionario. La precisione di questi software è tale da valutare molte caratteristiche termofisiche come l'apporto del sole di giorno, la capacità di accumulare calore da parte delle murature, l'ingresso di aria fredda attraverso infissi non ben isolati, l'apporto di calore dovuto a due persone che dormono all'interno di una stanza, il flusso di calore che passa attraverso le murature, la quantità di anidride carbonica e i flussi d'aria tra l'interno e l'esterno dell'ambiente.³

La principale differenza che intercorre tra la simulazione energetica in regime dinamico e quella in regime stazionario è il periodo di tempo di cui si tiene conto. In questo caso si utilizza come condizione di partenza per il calcolo energetico, per ogni intervallo di tempo, il risultato del calcolo eseguito per l'intervallo di tempo precedente. Quest'ultimo arriva alla durata di un minuto e la temperatura interna dei locali non viene imposta, bensì è un risultato della simulazione. Questo è reso possibile poiché, oltre alle proprietà di trasmittanza termica dell'involucro edilizio, viene considerata anche la sua inerzia termica, ovvero l'immagazzinamento del calore da parte degli elementi di cui è costituito.

Gli impianti seguono anch'essi l'evoluzione dei parametri interni locali; si attivano, infatti, solamente quando la temperatura di comfort (temperatura di setpoint) non è soddisfatta.

Una simulazione energetica condotta in regime dinamico fornisce molte informazioni su come il sistema edificio risponde alle sollecitazioni. Per ottenere poi il fabbisogno e il consumo energetico dell'edificio è sufficiente integrare i risultati su tutto il periodo di simulazione che si vuole tenere in considerazione.

Le principali applicazioni di una simulazione in regime dinamico sono la progettazione di edifici a energia quasi zero (nZEB), il dimensionamento di impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, il progetto dell'involucro, la diagnosi energetica e la riqualificazione o la nuova progettazione di edifici con destinazioni complesse.

La simulazione energetica in regime dinamico fornisce risultati più precisi ma è più onerosa in

² A. Ursini Casalena, *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici nZEB*, a cura di D. Di Giorgio. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>

³ A. Denza, *Simulazione dinamica energetica degli edifici*, 2015. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>

termini di tempi e di costi. Spesso, per questo motivo, viene scelto di condurre una simulazione in regime stazionario o semi-stazionario, specialmente quando il risultato richiesto è il fabbisogno energetico dell'edificio e i suoi consumi per un certo periodo di tempo. La conduzione di questo tipo di simulazione è sufficiente anche quando è richiesta la verifica della rispondenza ai requisiti legislativi e quando viene richiesto di condurre una certificazione energetica.⁴

Ci sono degli scenari in cui però è fondamentale l'utilizzo della simulazione energetica dinamica per poter avere una corretta e precisa valutazione dell'investimento. Questo, per esempio, avviene per le diagnosi energetiche e per la progettazione di edifici nZEB. Succede infatti che spesso gli impianti vengono sovradimensionati, portando così a un aumento dei costi ma anche dei consumi; il sovradimensionamento riguarda non solo l'acquisto dell'impianto ma anche la sua gestione, portando a uno spreco che interessa tutto l'arco di vita dell'immobile.⁵

2 LA DIAGNOSI ENERGETICA

La Diagnosi Energetica è una procedura sistematica finalizzata a fornire un'analisi energetica dell'edificio, a simulare i possibili interventi di risparmio energetico, a identificare le prestazioni raggiungibili a valle degli interventi e a riferire al cliente in merito ai risultati (D. lgs. 102/14).⁶

Dalla definizione appena fornita si può intuire che il principale scopo della Diagnosi Energetica è quello di proporre interventi per migliorare le prestazioni energetiche di un edificio, sulla base di un'analisi costi-benefici. Questa peculiarità è anche ciò che differenzia questa procedura dalla Certificazione Energetica, strumento che consente invece di sviluppare una consapevolezza sullo stato energetico di un edificio e quindi di rappresentarne la qualità energetica.⁷

2.1 Il responsabile della diagnosi energetica

Il responsabile della diagnosi energetica, o REDE, è una figura tecnica con una certa competenza che esegue la diagnosi e ne è responsabile. Il ruolo, definito nella norma UNI CEI EN 16247-5, può essere svolto da un singolo oppure, nel caso in cui non sia competente in tutti gli ambiti necessari, da un team di lavoro che comprende diversi tecnici. Il REDE, oltre alle competenze tecniche, deve avere anche una capacità comunicativa in quanto il suo compito prevede che nello svolgimento della diagnosi dovrà relazionarsi con altre persone.⁸

⁴ A. Ursini Casalena, *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici nZEB*, a cura di D. Di Giorgio. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>

⁵ A. Denza, *Simulazione dinamica energetica degli edifici*, 2015. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>

⁶ D. Soma, *La diagnosi energetica con il software Edilclima: i punti di forza ed il valore aggiunto*. Consultabile in: <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=EDILCLIMA%20DIAGNOSI%20ENERGETICHE.pdf>

⁷ L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pag 8. Consultabile in: <https://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/gatti.pdf>

⁸ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 20-21. Consultabile in: <https://www.certifico.com/component/attachments/download/11983>

2.2 Requisiti della diagnosi energetica

La diagnosi energetica, in quanto procedura sistematica, deve avere dei requisiti fondamentali per poter conseguire i suoi obiettivi:

2.2.1 Completezza

La diagnosi energetica deve descrivere il sistema energetico attraverso tutti gli aspetti significativi degli elementi che lo compongono, ovvero l'involucro dell'edificio, l'impianto di riscaldamento/raffrescamento, l'impianto di trattamento dell'aria e di ventilazione, l'impianto elettrico, l'impianto a fonti rinnovabili, i sistemi di automazione e controllo, i componenti di movimentazione nell'edificio e il comfort termico, la qualità dell'aria, l'acustica e l'illuminazione.

2.2.2 Attendibilità

L'analisi della documentazione tecnica, sopralluoghi e rilievi, devono far in modo che i dati raccolti devono essere soddisfacenti sia qualitativamente che quantitativamente, al fine della definizione delle caratteristiche essenziali del sistema e del consumo energetico.

2.2.3 Tracciabilità

Le fonti dei dati utilizzati, le modalità di elaborazione dei risultati e le ipotesi assunte devono essere facilmente individuate. Questo è permesso attraverso l'utilizzo di una procedura standardizzata, l'identificazione dei consumi energetici dell'edificio, la documentazione dell'origine dei dati e l'elaborazione della diagnosi comprendendo le ipotesi assunte.

2.2.4 Utilità

Gli interventi proposti dalla diagnosi devono essere identificati e valutati tramite un'analisi costi-benefici. Per ogni scenario di intervento vengono formulati una descrizione, un'analisi dei benefici energetici, economici e ambientali, le interazioni con altri interventi, i costi, i riferimenti normativi e le verifiche da effettuare a seguito dell'intervento previsto.

2.2.5 Verificabilità

Il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio, tramite gli interventi proposti in fase di diagnosi, deve essere verificabile dal committente.⁹

2.3 Fasi operative

La diagnosi energetica segue delle fasi di processo ben precise che permettono di standardizzarne la metodologia operativa. Esse sono illustrate nella norma UNI CEI EN 16247-3 del 2014:

1. Contatti preliminari;

⁹ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 21-23.

2. Incontro preliminare;
3. Raccolta dati;
4. Attività in campo;
5. Analisi;
6. Report;
7. Incontro finale.

Queste fasi si svolgono in maniera progressiva e sono dipendenti tra loro. Le tempistiche e le azioni da svolgere devono essere definite in un cronoprogramma operativo che fa parte del progetto di diagnosi.

2.3.1 Contatti preliminari

In questa fase vengono definite le esigenze della committenza, l'ambito di intervento, il grado di accuratezza e gli obiettivi della diagnosi. Le finalità della diagnosi vengono definite in termini di edifici o parti di essi, servizi energetici e tecnici e aree e sistemi esterni, e possono contenere:

- riduzione dei costi e dei consumi dell'energia;
- riduzione dell'impatto ambientale;
- conformità alla legislazione o ad obblighi volontari.

Il grado di accuratezza deve essere concordato in quanto da esso dipendono alcuni fattori come le tempistiche, il livello di modellazione, di misurazione e di approfondimento degli interventi di miglioramento e le competenze del responsabile della diagnosi energetica.

In questa fase vengono raccolte le informazioni preliminari riguardanti le operazioni da effettuare per la Diagnosi, i programmi strategici, i sistemi di gestione energia ed eventuali vincoli relativi a misure di risparmio energetico. Vengono poi definite le figure coinvolte durante tutte le fasi, tra cui un referente dell'edificio, e gli elaborati di report da presentare.¹⁰

2.3.2 Incontro preliminare

Durante la fase di incontro preliminare sono definiti i confini del sistema energetico e le modalità operative di accesso, risorse e dati che devono essere forniti, le norme di sicurezza e l'incolumità per lo svolgimento della diagnosi energetica. Vengono fornite informazioni al committente delle fasi di processo, dello schema di esecuzione e delle relative modalità operative. In seguito, si acquisiscono dati sull'edificio come lo storico degli eventi, le opere di manutenzione ed eventuali vincoli che ricadono su di esso e quindi viene definito un programma di sopralluoghi con relative priorità. Viene inoltre concordato:

- un programma di verifica della documentazione tecnica;

¹⁰ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 25-26.

- un crono-programma dei sopralluoghi;
- il livello di coinvolgimento degli occupanti dell'edificio;
- le condizioni di accesso alle aree oggetto di indagine;
- i rischi e pericoli per la salute.¹¹

2.3.3 Raccolta dati

A questo punto il responsabile della diagnosi inizia la raccolta dei dati economici, ambientali e riguardanti il sistema energetico. Si reperiscono:

- documenti tecnici riguardo geometria dell'edificio, elementi tecnologici e impianti;
- valori di impostazione di parametri ambientali interni e la loro variazione stagionale;
- profili di occupazione per le differenti attività svolte all'interno dell'edificio;
- cambiamenti avvenuti negli ultimi tre anni o nel periodo di cui si dispongono i dati;
- certificazione energetica dell'edificio e relazione tecnica, se disponibili;
- documenti relativi a interventi di manutenzione o di riqualificazione eseguiti;
- consumi energetici tramite lettura dei contatori o i dati da bolletta;
- energia prodotta ed esportata per ogni vettore energetico (ovvero, come definito dalla norma UNI CEI EN 16247-2, per ogni sostanza o fenomeno fisico che può essere utilizzato direttamente o indirettamente al fine di essere trasformato in energia utile);
- elenco delle apparecchiature presenti e i relativi consumi;
- fattori che influenzano i consumi energetici.

Reperate tali informazioni si revisionano e si integrano e si fanno previsioni su prezzi e costi; si conclude questa fase operativa con un'analisi preliminare del sistema energetico.¹²

2.3.4 Attività in campo

Attraverso rilievi vengono ispezionati alcuni aspetti del sistema energetico e del suo comportamento sulla base dell'incontro preliminare e dei dati raccolti in precedenza, verificando la rispondenza e integrando quelli mancanti.

È necessario che in questa fase della diagnosi ci si accerti di possedere i dati relativi a:

- dimensione dell'edificio;
- servizi energetici presenti nell'edificio;
- locali climatizzati e non e relativi sistemi impiantistici;
- caratteristiche dell'involucro;
- specifiche dei sistemi tecnici;

¹¹ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 26-27.

¹² N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 27-28.

- parametri delle apparecchiature;
- destinazione d'uso degli ambienti e profili di occupazione;
- parametri ambientali interni;
- ombreggiamenti.

Si valutano gli aspetti energetici significativi e si identifica come il consumo energetico possa essere influenzato dal comportamento degli utenti e dalle modalità operative. Infine, si elencano aree e processi che necessitano di integrazione di dati a supporto dell'analisi.

Nel caso in cui si siano verificate variazioni di alcuni aspetti dell'edificio è opportuno tenere in considerazione gli aspetti di queste.

Inoltre, durante lo svolgimento delle attività, il responsabile della diagnosi energetica deve rispettare i regolamenti vigenti in termini di salute, sicurezza, controllo degli accessi e protezione dell'ambiente e si deve assicurare che i rilievi siano rappresentativi delle condizioni di esercizio.¹³

2.3.5 Analisi

Si costruisce a questo punto il modello energetico sulla base delle informazioni finora raccolte, si compie un'analisi del bilancio e si genera un diagramma dei flussi energetici suddivisi per utilizzo finale, sistema impiantistico e approvvigionamento. Il modello di calcolo viene validato attraverso un confronto tra i consumi calcolati e i consumi reali. Vengono identificati gli scenari di intervento e valutate le Opportunità di Risparmio Energetico (ORE), ossia interventi di modifica e/o sostituzione di singole componenti dell'involucro e/o degli impianti termici dell'edificio o della gestione degli stessi finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche.¹⁴

L'obiettivo è quello di definire un consumo di riferimento che verrà utilizzato per la valutazione degli interventi migliorativi; questi ultimi possono essere suddivisi in:

- interventi sull'involucro;
- interventi sugli impianti meccanici;
- interventi sugli impianti elettrici;
- sistemi di monitoraggio dei consumi;
- utilizzo di fonti rinnovabili.

Il responsabile della diagnosi energetica deve valutare anche tutte le interferenze tra gli interventi che vuole proporre. Bisogna quindi studiare combinazioni di azioni nel caso in cui alcune misure influiscano su altre; il risparmio ottenuto, in questo caso, non è infatti la somma dei risparmi dei singoli interventi, ma risulta necessario simulare l'attuazione in contemporanea degli interventi che

¹³ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 28-29.

¹⁴ L. Mazzarella, L. A. Piterà, LINEE GUIDA *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pag. 14.

si intendono compiere.¹⁵

2.3.5.1 Costruzione del modello energetico

La costruzione del modello energetico è indispensabile per simulare l'attuazione di interventi interferenti e valutare quindi le effettive opportunità di risparmio energetico. Questa procedura comprende le seguenti fasi:

- inserimento dati climatici: questi differiscono in base alla località; la norma UNI 10349 fornisce i dati climatici convenzionali per tutto il territorio italiano;
- definizione dei confini del fabbricato e delle zone termiche: per confini del fabbricato si intende l'insieme degli elementi edilizi che separano l'ambiente climatizzato da quello esterno o da quelli non climatizzati. L'insieme di questi elementi che delimitano l'ambiente forma la superficie disperdente dell'edificio. Una zona termica è una parte dell'ambiente climatizzato mantenuta a temperatura attraverso lo stesso impianto di climatizzazione e per ciascuna di esse viene effettuato un calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento;
- definizione dei servizi energetici presenti e degli impianti: per ciascuna zona termica vengono indicati servizi energetici e caratteristiche degli impianti;
- risultati della simulazione: vengono calcolati, per ogni zona, i fabbisogni di energia termica per riscaldamento o raffrescamento, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione meccanica, per l'illuminazione e per il trasporto di cose o persone.¹⁶

2.3.5.2 Validazione del modello energetico

La validazione del modello energetico viene effettuata attraverso il confronto tra i consumi operativi (C_o), ovvero quelli ottenuti dal modello di simulazione, e quelli effettivi (C_e), questi ultimi ricavati dalle bollette. Al fine di condurre questo confronto è necessario conoscere:

- Le condizioni termoigrometriche esterne degli anni a cui si fa riferimento per il consumo da calcolare;
- I profili di utilizzo del sistema edificio-impianto degli stessi anni.

In fase di validazione, la simulazione fa infatti riferimento a questi due fattori.

Il margine di incertezza, ovvero lo scostamento massimo tra i consumi operativi e i consumi effettivi, è del 5%.

$$-0,05 \leq \frac{C_o - C_h}{C_e} \leq 0,05$$

¹⁵ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 29-31, 33.

¹⁶ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 34-37.

Questo scostamento viene definito in fase di contatto preliminare in base ai dati disponibili e al livello di approfondimento richiesto. Solo nel caso in cui non ci sono dati certi il margine di incertezza concesso può superare il 5%, ma deve essere comunque inferiore al 10%. Se questi valori vengono superati si deve verificare la correttezza del modello di simulazione o dei fattori di aggiustamento applicati ai consumi da bolletta e apportare delle modifiche.

Non è possibile procedere alle fasi successive della diagnosi se il modello non risulta validato poiché in tal caso non può costituire la base per la valutazione degli interventi di riqualificazione energetica.¹⁷

2.3.5.3 Firma energetica

Esiste una metodologia di modellizzazione del comportamento energetico dell'edificio definita "firma energetica"; essa è la rappresentazione grafica di un consumo energetico in funzione di un parametro esterno, solitamente la temperatura. Dalla correlazione tra la temperatura esterna e la potenza del generatore di calore necessaria al mantenimento di una temperatura interna costante, si ricavano dei punti che si distribuiscono in modo lineare in un grafico temperatura-potenza. Questi punti mostrano come l'edificio reagisce alle variazioni di temperatura esterna.

Gli scopi principali della firma energetica sono: mostrare il comportamento dell'edificio al variare della temperatura; evidenziare il risparmio dovuto all'incremento dell'efficienza energetica; il confronto di essa con i dati misurati mostra se il consumo corrisponde effettivamente a quello calcolato; si identificano le disfunzioni dell'impianto di riscaldamento e si orienta la ricerca verso possibili soluzioni.¹⁸

2.3.5.4 Valutazione dei risparmi energetici

La valutazione dei risparmi energetici conseguibili dopo gli interventi ipotizzati differisce se questi sono interferenti oppure no. Se gli interventi non interferiscono tra essi, il risparmio energetico si calcola come la somma dei risparmi conseguibili dai singoli interventi. Quando gli interventi hanno un impatto gli uni sugli altri vengono analizzati tramite il modello costruito, che permette di simulare la loro applicazione in contemporanea, raggruppandoli in scenari che tengono conto delle influenze reciproche.

Per la valutazione dei benefici derivanti dagli interventi ipotizzati si può fare riferimento ai dati climatici standard. Utilizzando questi dati si ottengono i valori di consumo normalizzati e che quindi non dipendono dalle condizioni climatiche degli anni che si sono presi come riferimento. Effettuando una simulazione dello stesso modello validato, in condizioni climatiche standard, si valuta anche il consumo dopo l'intervento. Dal confronto dei risultati di consumo ottenuti prima ($C_{ante\ operam}$)

¹⁷ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 38-39.

¹⁸ L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pp 22-23.

e dopo gli interventi ($C_{post\ operam}$) si ottiene il risparmio energetico (R_e):

$$R_e = C_{ante\ operam} - C_{post\ operam}$$

Il responsabile della diagnosi energetica decide però a quali dati climatici fare riferimento, se a quelli standard o a quelli reali, poiché l'utilizzo di condizioni climatiche standard non garantisce una stima più realistica rispetto all'utilizzo di condizioni reali. Possono essere svolti i calcoli anche con entrambi i metodi per poi confrontare i due risultati.

Se gli interventi prevedono l'installazione di impianti a fonti rinnovabili deve essere verificata mensilmente la compensazione tra i fabbisogni energetici e l'energia prodotta da questi impianti, così il surplus di energia non viene conteggiato nel risparmio.¹⁹

2.3.5.5 Analisi costi-benefici

Successivamente si procede con una valutazione economica degli interventi per capire quale soluzione abbia un rapporto costi-benefici più favorevole. Solitamente le opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica vengono classificate tramite il numero di anni necessario a recuperare l'investimento iniziale, ovvero il tempo di ritorno semplice (T_R). Esso individua la redditività dell'investimento e si calcola come rapporto tra l'investimento iniziale e il risparmio dovuto all'intervento.

Il tempo di ritorno di un intervento non deve superare la vita utile dell'edificio su cui viene effettuato, salvo nel caso in cui l'intervento, seppur non economicamente conveniente, è necessario.²⁰

2.3.6 Report

In questa fase vengono elaborati i contenuti del rapporto di diagnosi energetica, relazione in cui viene descritta l'intera procedura, in funzione del campo di applicazione, degli obiettivi e del livello di dettaglio.²¹

2.3.7 Incontro finale

L'ultima fase consiste nella consegna del rapporto di diagnosi, nella presentazione dei risultati e nell'analisi e programmazione preliminare degli interventi stabiliti.

Al termine del processo di diagnosi si traducono operativamente i risultati ottenuti dalla fase di Analisi per migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio. Questa è la fase di implementazione delle Opportunità di Risparmio Energetico (ORE) e non è propriamente inserita all'interno della

¹⁹ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 39-41.

²⁰ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 42-43.

²¹ N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019, pp. 45-46.

diagnosi energetica, ma ne è strettamente correlata.²²

2.4 Livelli di dettaglio

La diagnosi energetica può essere condotta secondo tre livelli di dettaglio, a cui corrispondono tre tipologie differenti di diagnosi, che si differenziano per la durata del procedimento e il costo. La diagnosi leggera corrisponde al I livello di dettaglio, la diagnosi standard al II livello e la diagnosi dettagliata al III livello. I principali elementi che guidano alla scelta della tipologia di diagnosi sono: l'ambito d'intervento, il grado di accuratezza e gli obiettivi.

2.4.1 I livello: diagnosi leggera

Se si compie una diagnosi cosiddetta leggera si effettua un'ispezione in loco visiva dei sistemi energetici. Vengono svolte poche misurazioni degli impianti e si stima il potenziale di risparmio energetico ed economico attraverso dei semplici fogli di calcolo. Vengono ipotizzati qualitativamente dei possibili scenari di intervento solo sui sistemi più energivori dell'edificio.

2.4.2 II livello: diagnosi standard

A questo livello di dettaglio è prevista un'analisi di tutti i sistemi impiantistici con misure dettagliate di questi; inoltre, il calcolo del potenziale di miglioramento viene svolto attraverso software appositi, con modelli di calcolo in regime stazionario, e si compie per ogni scenario di intervento sul sistema impiantistico, tramite analisi energetica, economica e multicriterio; quest'ultima deriva dall'unione delle analisi energetica, economica, ambientale e d'immagine e viene svolta quando sono stabiliti obiettivi differenti, per esempio di carattere sia economico che energetico, da raggiungere contemporaneamente.²³

2.4.3 III livello: diagnosi dettagliata

Questa diagnosi si differenzia da quella standard in quanto si utilizza un modello di calcolo in regime dinamico e poiché si effettua una valutazione del consumo di energia primaria suddiviso per funzioni d'uso, vettore energetico e profili d'uso.

Spesso la diagnosi energetica di I livello non costituisce un'alternativa sbrigativa ed economica alle altre due ma può essere svolta precedentemente a un'altra più dettagliata, diventando così un punto di partenza.²⁴

²² L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pp. 16-18.

²³ L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pag. 33.

²⁴ L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pp. 14-15.

2.5 Differenze con l'Attestato di Prestazione Energetica (APE)

La diagnosi energetica viene effettuata in condizioni effettive di utilizzo (tailored rating) quindi basandosi su dati relativi all'edificio e all'impianto reale. È richiesto dalla normativa che il modello di simulazione riproduca fedelmente le reali condizioni operative dell'edificio negli anni per cui si possiedono i dati relativi ai consumi, in modo da poter confrontare questi ultimi con i fabbisogni calcolati. La procedura di diagnosi serve perciò a fornire una conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici.

L'attestato di prestazione energetica è invece una procedura che si basa su una valutazione di tipo standard (asset rating) nella quale i dati di ingresso si basano su un utilizzo dell'edificio e un clima standard, mentre i dati geometrici sono quelli di un edificio reale, in quanto si basano su un rilievo dell'edificio. Questa procedura, infatti, non tiene conto del comportamento dell'utenza e delle condizioni climatiche reali in cui l'edificio si inserisce. Le differenze tra la valutazione teorica valutata con questo approccio e il comportamento reale possono essere notevoli. L'obiettivo dell'APE è quello di fornire un valore di riferimento confrontabile del consumo energetico potenziale in modo da orientare all'acquisto degli immobili.²⁵ In questo documento è infatti indicata la classe energetica dell'edificio, la quale indica il livello di consumi energetici della struttura.

2.5.1 Classificazione energetica

La classificazione energetica degli edifici è una procedura necessaria quando si vuole migliorare l'efficienza energetica di un immobile. Nel nuovo APE, come definito nel DM 26 giugno 2015, la classe energetica viene definita a partire dal valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile, $EP_{gl,nren}$ [kWh/m²anno], esso è un indice che misura l'energia consumata necessaria al raggiungimento delle condizioni di comfort per il riscaldamento invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, il raffrescamento estivo e l'illuminazione artificiale.

L'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile deriva dalla somma di altri parametri (Equazione 1.1):

$$EP_{gl,nren} = EPH_{nren} + EPC_{nren} + EPW_{nren} + EPV_{nren} + EPL_{nren} + EPT_{nren}$$

Equazione 1.1 – Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile

Dove:

- EPH_{nren} : energia per la climatizzazione invernale;
- EPC_{nren} : energia per la climatizzazione estiva;
- EPW_{nren} : energia per la produzione di acqua calda sanitaria;
- EPV_{nren} : energia per la ventilazione;

²⁵ Edilibera, *Diagnosi energetica e APE a confronto: non sono la stessa cosa*, 2020. Consultabile in: <http://edilibera.it/diagnosi-energetica-e-attestato-ape-a-confronto-non-sono-la-stessa-cosa/>

- EPL_{nren} : energia per l'illuminazione artificiale;
- EPT_{nren} : energia per il trasporto di persone e cose.

Minore è il consumo di energia dell'edificio, minore sarà anche il suo indice di prestazione e migliore è la sua prestazione energetica.

La scala delle classi energetiche viene definita partendo dal valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento ($EP_{gl,nren,rif,standard(2019/21)}$), il quale si calcola ipotizzando in esso la presenza di tecnologie standard (secondo quanto previsto dall'Allegato 1, capitolo 3 del decreto requisiti minimi).

Le classi energetiche vengono quindi identificate da intervalli di prestazione ricavati attraverso coefficienti moltiplicativi di riduzione o maggiorazione di questo indice (Tabella 1.1).

Tabella 1.1 – Coefficienti moltiplicativi $EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$

	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$0,40 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$0,60 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$0,80 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$1,00 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$1,20 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$1,50 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$2,00 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$2,60 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$
$3,50 EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)} <$	Classe G	

Calcolato quindi l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di cui si vuole determinare la classe energetica, lo si confronta poi con gli intervalli dei valori appena calcolati.²⁶

²⁶ Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Allegato 1, *Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici*.

Consultabile in: https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM_Linee_guida_APE_allegato1.pdf

Questo parametro è uno dei parametri più significativi per la determinazione del valore commerciale di un immobile, e infatti fornisce informazioni, ricavate basandosi su criteri oggettivi, sulle caratteristiche energetiche dell'edificio in questione. Un edificio in classe A, ad esempio, possiede un valore di vendite superiore rispetto a un edificio in classe inferiore, e i suoi consumi energetici annui saranno minori, con un conseguente risparmio energetico e quindi economico.²⁷

3 QUADRO NORMATIVO

3.1 Quadro normativo europeo

Per l'Unione Europea, la riduzione del consumo e dello spreco di energia ha molta importanza, e l'accortezza nei confronti di questo tema cresce con il passare degli anni. Oltre a essere uno strumento per raggiungere un approvvigionamento energetico sostenibile, la riduzione delle emissioni di gas serra riduce anche i costi delle importazioni e promuove la competitività dell'UE; l'efficienza energetica è infatti una priorità strategica per l'UE, la quale promuove il principio "l'efficienza energetica al primo posto".²⁸

Nel 2007, con il piano 20-20-20 dell'Unione, il Consiglio Europeo ha fissato un obiettivo che prevedeva la riduzione del 20% le emissioni di gas a effetto serra, l'incremento di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili pari al 20% del totale e la riduzione dei consumi di energia primaria, tutto entro il 2020.

La Commissione Europea ha favorito diversi impulsi legislativi finalizzati al miglioramento del risparmio energetico in Europa, ma sebbene la legislazione fosse stata pensata per migliorare il rendimento energetico nei principali settori di consumo, non sarebbe stata sufficiente per raggiungere il conseguimento dell'obiettivo della riduzione del 20% dei consumi entro il 2020. Era necessario quindi un ulteriore provvedimento che perseguisse questo obiettivo e prevedesse ulteriori miglioramenti dopo il 2020.

3.1.1 Direttiva 2012/27 UE

Il 25 ottobre 2012 viene emanata la direttiva 2012/27 UE sull'efficienza energetica. Essa prevedeva che:

- gli Stati membri assicurassero che, entro il 2020, fornitori e distributori di energia risparmino ogni anno l'1,5% in più di energia;
- i governi dell'UE acquistassero solo prodotti, servizi ed edifici ad alta efficienza

²⁷ A. Cardillo, P. Tripodi, *Cosa s'intende per indice di prestazione energetica (EPgl, IPE, EPgl,nren)*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/attestato-prestazione-energetica-ape-firenze/indice-di-prestazione-energetica>

²⁸ M. Ciucci, A. Keravec, *Efficienza Energetica*, Parlamento Europeo, 2021. Consultabile in: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/69/efficienza-energetica#:~:text=Nel%202007%20i%20leader%20dell,%2C5%20%25%20entro%20il%202030>

energetica;

- ciascuno Stato membro individuasse un obiettivo di efficienza, basato sul consumo e sul risparmio di energia primaria o finale o sull'intensità energetica e lo notificasse alla Commissione;
- gli Stati membri elaborassero una strategia a lungo termine per mobilitare investimenti nella ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e commerciali, pubblici e privati;
- si provvedesse all'investimento esclusivo su prodotti, servizi o edifici ad alta efficienza, valutando il rapporto costi-efficacia.

Con questa direttiva vengono fatti notevoli passi in avanti, si è cercato di uniformare le scelte dell'UE verso un concreto risparmio energetico e una riduzione delle emissioni inquinanti.²⁹

3.1.2 Direttiva 2018/2002 UE

La direttiva UE 2018/2002 è entrata in vigore il 24 dicembre 2018 e ha sostituito la precedente direttiva 2012/27 UE. Essa si propone di rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e di superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia. Fissa, inoltre, obiettivi e contributi nazionali indicativi in materia di efficienza energetica per il 2020 e il 2030. Con essa si vuole anche migliorare l'informazione sul consumo di riscaldamento e raffreddamento per promuovere il suolo attivo dei consumatori e di potenziare la frequenza dell'informazione mediante l'introduzione dell'obbligo di leggibilità a distanza dei contatori di calore.³⁰

Vengono aggiornati gli obiettivi precedentemente imposti dalla direttiva 2012/27: si vuole pertanto ridurre il consumo di energia primaria del 32,5% e il consumo annuo in media del 4,4%, entro il 2030.

Nel periodo 2021-2030 gli Stati membri devono elaborare un piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) in cui viene illustrato come si prevede di raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica.³¹

3.1.3 Direttiva 2018/844 UE

Questa direttiva europea interviene modificando la precedente normativa sulla prestazione energetica nell'edilizia (direttiva 2010/31 UE) e, congiuntamente alla direttiva 2018/2002 UE, anche

²⁹ M. Petracca, *La direttiva 2012/27/UE: un concreto passo in avanti verso il miglioramento della resa energetica in Europa*. Consultabile in: <https://www.ambientediritto.it/dottrina/la-direttiva-2012-27-ue-un-concreto-passo-in-avanti-verso-il-miglioramento-della-resa-energetica-in-europa/>

³⁰ *Attuazione della direttiva (UE) 2018/2002, che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*, 2020. Consultabile in: <https://temi.camera.it/leg18/dossier/OCD18-13432/attuazione-della-direttiva-ue-2018-2002-che-modifica-direttiva-2012-27-ue-sull-efficienza-energetica.html>

³¹ M. Ciucci, A. Keravec, *Efficienza Energetica*, Parlamento Europeo, 2021. Consultabile in: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/69/efficienza-energetica#:~:text=Nel%202007%20il%20leader%20dell,%2C5%20%25%20entro%20il%202030>

la precedente direttiva sull'efficienza energetica (direttiva 2012/27 UE).

L'obiettivo è quello sviluppare un sistema energetico sostenibile competitivo, sicuro e decarbonizzato, che nel concreto si traduce nel garantire un parco immobiliare ad alta efficienza energetica e decarbonizzato in ogni Stato membro entro il 2050 e di ridurre le emissioni di CO₂ nell'Unione di almeno l'80% rispetto al 1990.

Per il raggiungimento di questi obiettivi, la normativa introduce alcune novità, come l'obbligo di migliorare la prestazione energetica di edifici nuovi ed esistenti e la richiesta di prevedere strategie nazionali di ristrutturazione degli immobili e gli indicatori di intelligenza. È stato inoltre stimato dalla Commissione Europea che, affinché gli interventi siano efficaci, devono prevedere un tasso medio di ristrutturazione pari al 3% annuo; questo porterebbe anche più velocemente all'indipendenza energetica dell'Unione poiché ogni punto percentuale di miglioramento del risparmio energetico permette di ridurre le importazioni di gas del 2,6%.

L'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza misura la capacità degli edifici di adattare il consumo energetico alle reali esigenze degli abitanti, migliorando la propria operatività e interazione con la rete. L'obiettivo di questo indicatore è quello della sensibilizzazione sull'automazione degli edifici e del monitoraggio elettronico dei sistemi tecnici per l'edificio e di assicurare circa i risparmi di queste nuove funzionalità migliorate.

La direttiva 2018/844 non tratta solo gli interventi relativi agli edifici ma anche temi legati alla mobilità sostenibile e prevede pertanto misure finalizzate a favorire la mobilità elettrica, come forme di incentivazione per la realizzazione di infrastrutture per la ricarica delle auto elettriche sia in edifici di nuova costruzione sia per le ristrutturazioni importanti.³²

3.2 Quadro normativo italiano

3.2.1 Legge n. 10 del 9 gennaio 1991

La principale legge italiana che regola il settore termotecnico è la Legge n. 10 del 9 gennaio 1991, "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di uso delle fonti rinnovabili di energia". In questa legge vengono stabiliti i limiti per i consumi di energia, termica ed elettrica, nel caso sia di nuova costruzione sia di interventi su edifici già esistenti. I limiti imposti riguardano l'involucro degli edifici, per esempio pareti e serramenti, e gli impianti, poiché i consumi energetici di un edificio dipendono dalle caratteristiche di entrambi questi elementi.³³

Gli obiettivi di tale legge sono:

- risparmio energetico (interventi sull'edificio, sugli impianti di controllo del microclima

³² S. Ciciello, *Nuova Direttiva UE 2018/844 sull'efficienza energetica: cosa cambia?*, 2018. Consultabile in: <https://www.ediltecnico.it/65215/nuova-direttiva-ue-2018-844-efficienza-energetica-cosa-cambia/>

³³ S. Martinelli, *Relazione termica legge 10: che cos'è e quando deve essere presentata*, 2016. Consultabile in: <https://www.lavorincasa.it/relazione-termica-legge-10/>

e di illuminazione);

- uso consapevole dell'energia;
- salvaguardia dell'ambiente;
- benessere degli individui;
- incentivazione dell'uso di fonti rinnovabili di energia;
- incentivazione dell'uso di sistemi impiantistici alternativi.³⁴

Nell'articolo 1 della legge, "Finalità e ambito di applicazione", sono esposti gli obiettivi per i quali vengono incentivati, inoltre, l'uso razionale dell'energia, l'utilizzo di fonti rinnovabili, il contenimento dei consumi nei processi produttivi e una rapida sostituzione degli impianti nei settori a più elevata intensità energetica. Al comma 3 vengono anche elencate le fonti definite rinnovabili, ovvero il sole, il vento, l'energia idraulica, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione dei rifiuti organici e inorganici o di prodotti vegetali; ci sono inoltre delle fonti di energia assimilate alle fonti rinnovabili e sono la cogenerazione (produzione combinata di energia elettrica o meccanica e di calore) e le fonti di energia recuperabile in processi, impianti e prodotti, compresi i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti.

Dall'articolo 4, "Norme attuative e sulle tipologie tecnico-costruttive", vengono previste delle norme che:

- definiscono i criteri generali tecnico-costruttivi e le tipologie per l'edilizia, anche riguardo alla ristrutturazione, che facilitino il raggiungimento degli obiettivi visti nell'articolo 1;
- definiscono i criteri generali per la costruzione o la ristrutturazione degli impianti di interesse agricolo, zootecnico e forestale per il raggiungimento degli obiettivi di cui all'articolo 1;
- sono finalizzate al contenimento dei consumi di energia riguardanti gli impianti termici e tutti gli aspetti ad essi correlati;
- sono finalizzate al contenimento dei consumi energetici relativi a infrastrutture e trasporti;
- rendono apprezzabile il conseguimento dell'obiettivo dell'uso razionale di energia e delle fonti rinnovabili nei criteri di aggiudicazione delle gare d'appalto rilevanti per la fornitura di beni e servizi.

L'articolo 19, "Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia", prevede che i soggetti che operano nei settori industriale, civile, terziario e dei trasporti che consumano più di una soglia prevista di energia debbano nominare un tecnico responsabile per la conservazione e l'uso

³⁴ P. Rotiroti, *La normativa vigente in materia di Certificazione Energetica in Italia*. Consultabile in: <http://www.arpacal.it/atticonvegni/La%20normativa%20vigente%20in%20materia%20di%20Certificazione%20Energetica.pdf>

razionale dell'energia che individui azioni, interventi e procedure necessarie alla promozione dell'uso razionale dell'energia.

L'articolo 26 "Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e di impianti" è molto importante poiché esso prevede che:

- gli edifici pubblici e privati devono essere progettati in modo da contenere il più possibile i consumi di energia, termica ed elettrica;
- negli edifici pubblici il fabbisogno energetico deve essere soddisfatto ricorrendo a fonti rinnovabili, se possibile;
- la progettazione di nuovi edifici pubblici deve prevedere la realizzazione di ogni impianto, opera e installazione volti alla conservazione, al risparmio e all'uso razionale dell'energia.³⁵

Le principali novità introdotte dalla legge n. 10 sono:

- la certificazione energetica degli edifici;
- la relazione tecnica a firma di un progettista abilitato, da presentare a cura del proprietario dell'immobile insieme alla denuncia di inizio lavori, per nuovi impianti, modifiche, installazioni relative alle fonti rinnovabili o al risparmio energetico;
- l'adozione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore per ogni unità immobiliare per i nuovi impianti di riscaldamento centralizzati;
- limiti di consumo di energia termica ed elettrica per edificio a seconda della destinazione d'uso, degli impianti e della zona climatica.

La completa attuazione della legge era rimandata all'emanazione di decreti attuativi. Il DPR n. 412 del 26 agosto 1993 è il Regolamento di attuazione della legge 10/91 ed è stato modificato e integrato da altri provvedimenti, tra cui il DPR 551/99.³⁶ Queste modifiche sono avvenute principalmente perché, con il passare degli anni, è cresciuta la necessità di limitare i consumi energetici globali delle costruzioni.³⁷

3.2.1.1 DPR n. 412 del 26 agosto 1993

Il decreto "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10" introduce delle novità normative.

L'articolo 2 prevede la suddivisione del territorio italiano in zone climatiche in funzione dei gradi giorno (GG); i gradi giorno vengono definiti nel decreto come la somma estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la

³⁵ Legge n. 10, 9 gennaio 1991.

³⁶ Studio SIMAX, *Efficienza energetica degli edifici*.

Consultabile in: <http://www.studiosimax.it/index.php/attivita/efficienza-energetica-edifici>

³⁷ S. Martinelli, *Relazione termica legge 10: che cos'è e quando deve essere presentata*, 2016. Consultabile in: <https://www.lavorincasa.it/relazione-termica-legge-10/>

temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera.

La classificazione degli edifici in categorie avviene a seconda della destinazione d'uso, come esplicitato nell'articolo 3.

Per ogni zona climatica vengono definiti dei giorni dell'anno per l'accensione e lo spegnimento degli impianti di riscaldamento e il numero massimo di ore giornaliere per il loro esercizio e inoltre la responsabilità per l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici è del proprietario, il quale può delegare la responsabilità dell'impianto a un terzo, purché esso abbia i requisiti previsti dalle normative vigenti.

Vengono stabiliti dei requisiti per il dimensionamento degli impianti termici negli edifici di nuova costruzione e in quelli soggetti a ristrutturazione; a questo fine sono determinati alcuni parametri:

- rendimento globale medio stagionale (η_G), che corrisponde al rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche;
- rendimento di produzione medio stagionale (η_P), ovvero il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nella rete di distribuzione e l'energia prima delle fonti energetiche;
- fabbisogno energetico normalizzato (FEN), nonché il rapporto tra la quantità di energia primaria globalmente richiesta nel corso della stagione di riscaldamento per mantenere negli ambienti la temperatura prefissata, con un adeguato ricambio d'aria, e il volume riscaldato, quest'ultimo moltiplicato per i gradi giorno della località.

I requisiti che devono essere verificati sono:

- il rendimento medio stagionale dell'impianto termico (η_G) deve essere maggiore di un valore limite minimo imposto ($\eta_{G_{LIM}}$);
- il fabbisogno energetico normalizzato del sistema (FEN) deve essere minore di un valore massimo imposto (FEN_{LIM}).³⁸

3.2.2 Decreto Legislativo 102/14

In Italia, il recepimento della direttiva 2012/27 UE è avvenuto tramite il d.lgs. n. 102 del 30 giugno 2014. Esso prevedeva:

- programma di interventi di riqualificazione energetica negli edifici della pubblica amministrazione centrale;
- grandi aziende e imprese ad alta intensità energetica sono tenute a eseguire diagnosi energetiche periodiche per individuare gli interventi più efficaci per ridurre i consumi

³⁸ DPR n. 412 del 26 agosto 1993.

di energia;

- analisi costi-benefici per aziende che vogliono realizzare nuovi impianti di produzione di energia elettrica o termica con potenza superiore a una determinata soglia;
- regole per sostenere l'efficienza energetica;
- istituzione del "Fondo nazionale per l'efficienza energetica", strumento finanziario di supporto alla riqualificazione energetica degli edifici della pubblica amministrazione e agli interventi per la riduzione dei consumi di energia nei settori dell'industria e dei servizi;
- disposizioni finalizzate ad accrescere la consapevolezza dei consumi energetici;
- l'introduzione di norme per la diffusione delle informazioni e per la formazione di imprese, pubbliche amministrazioni, cittadini e studenti.³⁹

3.2.3 Decreto Ministeriale 26 giugno 2015

Il 26 giugno 2015 vengono emanati tre decreti interministeriali che completano il quadro normativo in materia di efficienza energetica negli edifici:

- decreto sui requisiti minimi;
- decreto sulle linee guida nazionali per la certificazione energetica
- decreto sulla relazione tecnica di progetto.

3.2.3.1 Decreto sui requisiti minimi

Questo decreto definisce le nuove modalità di calcolo delle prestazioni energetiche e i nuovi requisiti minimi di efficienza per i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazione.

Si prevede un approccio diverso a seconda della tipologia di edificio e di intervento da eseguire; da questi due fattori dipendono requisiti e verifiche di legge differenti. Le tipologie di intervento previste si dividono in: nuova costruzione, demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopraelevazione con nuovo impianto o estensione di esso, ristrutturazione importante di primo e secondo livello e riqualificazione energetica.

Per ristrutturazione importante si intende un intervento che interessa l'involucro edilizio e delimita un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con incidenze superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio. In particolare, le ristrutturazioni importanti di primo livello sono interventi che coinvolgono l'involucro edilizio con incidenza superiore al 50% della superficie disperdente lorda complessiva e che comprendono la ristrutturazione dell'impianto termico di climatizzazione invernale o estiva; le ristrutturazioni importanti di secondo livello interessano invece l'involucro con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e possono interessare

³⁹ ENEA, *Approvato il Decreto di recepimento della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*, ENEA, 2014. Consultabile in: <https://www.enea.it/it/seguici/news/approvato-il-decreto-di-recepimento-della-direttiva-2012-27-ue-efficienza-energetica>.

anche l'impianto termico per la climatizzazione invernale o estiva. Le riqualificazioni energetiche sono interventi che non si possono ricondurre a ristrutturazioni importanti ma che hanno comunque un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio; possono coinvolgere una superficie inferiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva o possono consistere nella nuova installazione o ristrutturazione di un impianto termico o nella sostituzione di un generatore termico.⁴⁰

Viene introdotto il concetto di edificio di riferimento, ovvero un edificio identico a quello di progetto o reale in termini di geometria, orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati. Secondo questo decreto si dovranno effettuare due calcoli:

- il calcolo della prestazione energetica dell'edificio di riferimento;
- il calcolo della prestazione energetica dell'edificio reale, confrontato poi con quello di riferimento;

Questi si svolgono per avere dei limiti che gli edifici devono rispettare.

Sulla base della quantità di energia annualmente necessaria al soddisfacimento delle esigenze viene determinata la prestazione energetica degli edifici, che corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione e trasporto di persone o cose.⁴¹

3.2.3.2 Decreto sulle linee guida nazionali per la certificazione energetica

In questo decreto viene stabilito che il nuovo APE (attestato di prestazione energetica), documento attestante la prestazione energetica di un edificio, dovrà esprimere la prestazione energetica globale in termini di energia primaria non rinnovabile. La classe energetica verrà determinata tramite l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile; questo indice tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione, per l'illuminazione artificiale e il trasporto di persone o cose (queste ultime due solo se si tratta di edilizia residenziale). L'indice di prestazione energetica si determina come somma dei singoli servizi energetici forniti dall'edificio e si esprime in kWh/mq/anno.

Il nuovo APE dovrà contenere:

- la prestazione energetica globale in termini di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
- la classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria non rinnovabile;

⁴⁰ S. Martinelli, *Relazione termica legge 10: che cos'è e quando deve essere presentata*, 2016. Consultabile in: <https://www.lavorincasa.it/relazione-termica-legge-10/>

⁴¹ N. Furcolo, *Certificazione energetica (parte 2): il decreto requisiti minimi*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/certificazione-energetica-decreto-requisiti-minimi/>.

- la qualità energetica del fabbricato;
- i valori di riferimenti, per esempio i requisiti minimi di efficienza energetica;
- le emissioni di CO₂;
- l'energia esportata;
- le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con le proposte degli interventi più significativi e convenienti economicamente;
- le informazioni sul miglioramento della prestazione energetica, quindi diagnosi energetiche e incentivi finanziari.⁴²

3.2.3.3 Decreto sulla relazione tecnica di progetto

Con il D.M. del 26 giugno 2015 vengono stabiliti gli schemi e le modalità per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici. Esse sono predisposte in tre modelli:

- modello 1: per nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici a energia quasi zero;
- modello 2: per riqualificazioni energetiche e ristrutturazioni importanti di secondo livello, costruzioni esistenti con riqualificazione dell'involucro edilizio e di impianti termici;
- modello 3: riqualificazione energetica degli impianti tecnici.⁴³

3.2.4 Decreto legislativo 73/2020

Il decreto legislativo n. 73 del 14 luglio 2020 recepisce la direttiva 2018/2002 UE e di conseguenza sostituisce il precedente d.lgs. 102/14. Le principali novità che prevede sono:

- è anticipato l'aggiornamento del Conto Termico, incentivo economico per favorire la diffusione dell'efficienza energetica e la produzione di energia da fonti rinnovabili (introdotto con il DM 28/12/2012), e si includono nuovi interventi ammissibili per l'erogazione del beneficio;
- concorrono al raggiungimento degli obblighi di efficienza energetica anche i risparmi di energia per i quali non siano stati riconosciuti titoli di efficienza energetica o altri incentivi;
- non sono soggette all'obbligo di diagnosi energetica le gradi imprese con consumi energetici inferiori a una determinata soglia;
- per alcuni interventi di manutenzione straordinaria, restauro e ristrutturazione

⁴² A. Cardillo, P. Tripodi, *Nuovo attestato di prestazione energetica APE degli edifici*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/nuovo-attestato-prestazione-energetica-dm-26-06-2015-nuovo-ape-2016>.

⁴³ Certifico S.r.l., *Relazione tecnica di progetto (relazione tecnica ex legge 10)*, 2021. Consultabile in: <https://www.certifico.com/newsletter/archive/view/listid-65-impianti/mailid-40469-relazione-tecnica-di-progetto-relazione-tecnica-ex-legge-10>.

edilizia, con l'obiettivo di ridurre i valori di trasmittanza si introduce il permesso di derogare a normative nazionali, regionali o dai regolamenti edilizi comunali in merito a distanze minime tra edifici, dai confini di proprietà, di protezione del nastro stradale e ferroviario e alle altezze massime degli edifici. Si devono rispettare le distanze minime riportate nel Codice civile.

Tutte queste misure favoriscono interventi finalizzati al risparmio energetico e conseguono gli obiettivi energetico-climatici comunitari per la decarbonizzazione dell'economia adottati dall'Italia tramite il PNIEC.⁴⁴

3.2.5 Decreto legislativo 48/2020

Il d.lgs. n. 48 del 2020 recepisce la direttiva europea 2018/844 e modifica pertanto tutti i titoli precedenti in materia di efficienza energetica in edilizia. Promuove la ristrutturazione degli edifici esistenti e interviene su esercizio, controllo, conduzione, ispezione e manutenzione degli impianti di climatizzazione, per migliorarne l'efficienza; favorisce la creazione di banche dati sul parco edilizio nazionale per definire meglio gli incentivi per la riqualificazione e introduce degli obblighi per aumentare la diffusione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici.

Le principali modifiche introdotte dal decreto sono:

- estensione del significato di impianto termico definendo che sono impianti tutti i generatori, indipendentemente dalla potenza e dalla tecnologia; non sono impianti termici i sistemi finalizzati solo alla produzione di acqua calda sanitaria al servizio di singole unità immobiliari ad uso residenziale;
- il ministero dello sviluppo economico deve definire la strategia a lungo termine che sostenga la ristrutturazione del parco nazionale di edifici per facilitare la trasformazione di essi in edifici a energia quasi zero e ottenere edifici ad alta efficienza energetica entro il 2050; la strategia sarà recepita nel PNIEC e comprende:
 - ricognizione del parco immobiliare;
 - individuazione di approcci alla ristrutturazione efficace in termini di costi in base alla tipologia di edifici, alla zona, al ciclo di vita degli edifici per realizzare interventi di riqualificazione energetica;
 - rassegna di politiche e azioni in vigore e delle relative modifiche;
 - la proposta di politiche e azioni finalizzate a stimolare ristrutturazioni e ad accelerare la riqualificazione energetica degli edifici;
 - integrazione di interventi di efficientamento energetico con quelli per la riduzione del rischio sismico e di incendio, per ottimizzare la sicurezza;
 - stima affidabile del risparmio energetico;

⁴⁴ A cura di E. Meloni, *Efficienza energetica, priorità europea. Approvato il Dlgs 73/2020*, 2020. Consultabile in: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/efficienza-energetica-europa-dlgs-73-2020/>.

- obiettivi indicativi per il 2030, 2040 e il 2050 e un tasso annuale di ristrutturazione degli edifici pari almeno al 3%;
- vengono modificati i requisiti minimi degli edifici per le riqualificazioni:
 - in fase di progettazione si deve tenere conto della fattibilità tecnica, funzionale, ambientale ed economica dei sistemi alternativi ad alta efficienza;
 - gli edifici, in occasione della sostituzione del generatore di calore, se possibile, devono essere dotati di dispositivi autoregolanti che controllino la temperatura in ogni vano separatamente;
 - per l'installazione, la sostituzione o il miglioramento dei sistemi tecnici, i requisiti minimi comprendono il rendimento energetico globale, assicurano la corretta installazione e dimensionamento e prevedono sistemi di regolazione e controllo;
 - per nuova costruzione o ristrutturazione i requisiti rispettano i parametri del benessere termo-igrometrico degli ambienti interni, della sicurezza antincendio e sismica;
- devono essere rispettati i nuovi criteri di integrazione delle tecnologie per la ricarica dei veicoli elettrici;
- gli incentivi per migliorare l'efficienza energetica sono commisurati ai risparmi perseguiti o conseguiti.⁴⁵

3.2.6 Decreto Legge 34/2020

Il Decreto Legge n. 34 del 19 maggio 2020, conosciuto anche come Decreto Rilancio, ha come obiettivo quello di favorire gli interventi di efficientamento energetico e antisismici, l'installazione di impianti fotovoltaici e delle infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici negli edifici. Con esso vengono introdotti il Superbonus e il Sismabonus al 110%.

Il Superbonus è uno strumento volto a rilanciare rapidamente il comparto dell'edilizia e rispondere alle importanti sfide climatiche e ambientali previste dal PNIEC. Incentiva gli interventi di riqualificazione energetica e sismica di edifici residenziali e prevede un'aliquota di detrazione del 110% per le spese sostenute entro il 30 giugno 2022.⁴⁶

3.2.7 UNI/TS 11300:2014

La norma UNI/TS 11300:2014 nasce con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca che possa determinare le prestazioni energetiche degli edifici. È suddivisa in sei parti:

- UNI/TS 11300-1:2014 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale": fornisce i dati e le metodologie per

⁴⁵ Assimpredil Ance, *Prestazione energetica edifici – recepimento direttiva UE 2018/844*. Consultabile in: <https://portale.assimpredilance.it/articoli/prestazione-energetica-edifici-recepimento-direttiva-ue-2018-844>.

⁴⁶ MISE, *Superbonus e sismabonus 110% - decreti attuativi*. Consultabile in: <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/energia/superbonus-110>.

determinare il fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale e per umidificazione e deumidificazione;

- UNI/TS 11300-2:2014 "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 in edifici non residenziali": fornisce i dati e le metodologie di calcolo per la determinazione dei fabbisogni di energia termica utile per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria, di climatizzazione invernale, di ventilazione e di illuminazione;
- UNI/TS 11300-3:2014 "Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva": vengono forniti dati e metodi per determinare i rendimenti e i fabbisogni di energia dei sistemi di climatizzazione estiva, si applica a impianti fissi di climatizzazione estiva con macchine frigorifere azionate elettricamente o ad assorbimento, a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti per raffrescamento e climatizzazione estiva;
- UNI/TS 11300-4:2014 "Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria": calcola il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso in cui ci siano sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energia rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili. Per la produzione di energia termica utile si considerano le seguenti sorgenti di energie rinnovabili: solare termico, biomasse, fonti aeree, geotermiche e idrauliche e solare fotovoltaico (per la produzione di energia elettrica);
- UNI/TS 11300-5:2014 "Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili": fornisce metodi di calcolo che determinano univocamente e in modo riproducibile il fabbisogno di energia primaria degli edifici sulla base dell'energia consegnata ed esportata e la quota di energia da fonti rinnovabili. Fornisce precisazioni e metodi di calcolo che riguardano la valutazione dell'apporto di energia rinnovabile nel bilancio energetico, la valutazione dell'energia elettrica esportata, la definizione delle modalità di compensazione dei fabbisogni con energia elettrica prodotta da fonti di energia rinnovabili e la valutazione dell'energia elettrica prodotta da unità cogenerative;
- UNI/TS 11300-6:2014 "Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili": fornisce dati e metodi per determinare il fabbisogno di energia elettrica necessaria al funzionamento di impianti per il trasporto di persone o cose.⁴⁷

⁴⁷ CTI, *Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici*. Consultabile in: <https://www.cti2000.eu/la-uni-ts-11300/>.

3.2.8 UNI EN ISO 52016-1:2018

La norma UNI EN ISO 52016-1:2018 fa parte di una serie di norme denominate EPB “Energy Performance of Buildings” che hanno come obiettivo l’armonizzazione internazionale della metodologia per valutare le prestazioni energetiche degli edifici. In questa norma vengono definite le procedure di calcolo dei fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento e il metodo di calcolo per le temperature interne e per i carichi termici sensibili e latenti; si esprimono le regole basilari per la definizione delle zone termiche, i dati di input essenziali all’applicazione dei metodi di calcolo dinamico orario semplificato e mensile, si descrivono gli algoritmi di risoluzione e i dati in output.

All’interno di essa viene specificato che per applicare il metodo dinamico orario sono necessari i dati climatici definiti su base oraria come la temperatura dell’aria esterna, il contenuto di umidità dell’aria esterna, l’irradianza solare oraria, diretta e diffusa e la velocità del vento. Questi dati si ricavano da database internazionali o nazionali.

Per ogni zona termica condizionata e per ogni intervallo temporale, viene richiesta, da questa norma, la definizione dei parametri relativi alle condizioni di utilizzo e relativi ai sistemi tecnici; questi parametri sono, per esempio, il set-point di temperatura per il riscaldamento e il raffrescamento, la potenza disponibile dell’impianto, il flusso di ventilazione entrante e gli apporti interni totali, distinguendo tra le quote prodotte dagli occupanti, dalle apparecchiature e dall’illuminazione.

La metodologia di calcolo espressa nella norma richiede la definizione delle caratteristiche geometriche degli spazi e dei componenti dell’edificio, con i relativi parametri termo-fisici: la resistenza termica, i coefficienti convettivi e radioattivi per le superfici interna ed esterna, la potenza specifica dispersa attraverso i ponti termici, inclinazione e orientamento degli elementi opachi esterni, il coefficiente di assorbimento solare delle strutture opache esterne, la capacità termica, la trasmittanza termica dei serramenti e la trasmittanza di energia solare totale delle chiusure trasparenti.⁴⁸

3.2.9 UNI CEI EN 16247

Le norme EN 16247 stabiliscono i requisiti e forniscono le indicazioni per effettuate audit energetici; si propongono di aiutare le aziende europee affinché rispettino i requisiti fissati dalla direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica, la quale stabiliva misure per ridurre i consumi energetici e garantiva un uso più efficiente dell’energia.

Questa serie di normative va a definire i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi energetiche, i requisiti delle diagnosi energetiche specifiche relativi a edifici, i processi industriali e i trasporti e infine espone le competenze dell’auditor energetico.

⁴⁸ C. Di Perni, S. Summa, L. Tarabelli, *Valutazione della prestazione energetica degli edifici: il nuovo metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1*, 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25573-valutazione-della-prestazione-energetica-degli-edifici-il-nuovo-metodo-dinamico-orario-della-uni-en-iso-52016-1>.

La commissione tecnica CTI (Comitato Termotecnico Italiano), insieme al CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), ha pubblicato le cinque parti della norma UNI CEI EN 16247:

Nella norma UNI CEI EN 16247-1 vengono definiti i requisiti, i metodi e i prodotti comuni a tutte le diagnosi energetiche. Si applica a tutte le aziende e per tutte le forme di energia e il suo utilizzo; si escludono le singole unità immobiliari residenziali.

La norma UNI CEI EN 16247-2 si applica alle diagnosi energetiche degli edifici. In essa si definiscono i requisiti, i metodi e la reportistica di una diagnosi energetica relativa a un edificio o a un gruppo di edifici, escluse le singole residenze private.

La norma UNI CEI EN 16247-3 è relativa invece alle diagnosi energetiche nell'ambito di un processo, quindi all'organizzazione e la conduzione di una diagnosi energetica, all'analisi dei dati ottenuti con essa e alla documentazione dei risultati nei luoghi in cui l'uso di energia è dovuto al processo.

Nella norma UNI CEI EN 16247-4 si trattano le diagnosi energetiche nel settore dei trasporti e si affronta ogni situazione in cui si effettua uno spostamento, indipendentemente da chi sia l'operatore. Si descrivono quindi le procedure per le diverse modalità di trasporto e oggetti trasportati.

Infine, la norma UNI CEI EN 16247-5 è relativa alle competenze dell'auditor energetico; definiscono schemi nazionali di qualificazione della figura dell'auditor, per permettere alle imprese di nominare un auditor energetico competente e per assicurare un processo di diagnosi di buona qualità.⁴⁹

3.3 Validazione dei software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici

Ai sensi dell'articolo 7 del DM 26 giugno 2015, il decreto "Requisiti minimi", il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) svolge un'attività di verifica dei software commerciali e degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici.

Dal 7 giugno 2016 è disponibile il "Regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI", secondo il quale la conformità dell'applicativo informativo è valutata dal Comitato di Verifica sulla base dello scostamento dei valori degli indici di prestazione energetica, i quali sono calcolati tramite l'utilizzo degli applicativi, rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento. Affinché possa essere rilasciata la dichiarazione CTI per l'applicativo informativo gli indici devono avere uno scostamento massimo di:

- $\pm 5\%$ per gli strumenti di calcolo e i software commerciali per l'applicazione del metodo di calcolo di progetto e del metodo da rilievo sull'edificio;

⁴⁹ A. Cardillo, P. Tripodi, *Diagnosi energetiche – norme EN 16247 (parti: 1, 2, 3, 4, 5)*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/audit-diagnosi-energetiche/norme-en-16247-parti-1-2-3-4-5>.

- + 20% o – 5% per gli strumenti di calcolo e i software commerciali per l'applicazione di metodi semplificati.⁵⁰

Si riportano nella seguente tabella gli applicativi informatici commerciali verificati e certificati (con validazione dal 29 giugno 2016):⁵¹

Tabella 1.2 – Elenco degli applicativi informatici (valido dal 29 giugno 2016)

Produttore	Denominazione	Metodo semplificato	Versione protocollata	Versione validata
Blumatica S.r.l.	Blumatica Energy	No	6.2.0.0	6.2.015
Logical Soft S.r.l.	Termolog EpiX	No	7 rel.2016.11	7 rel.2016.43
Namirial S.p.A.	Namirial Termo	No	4.0.0.300	4.1.3
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	40.00	40.00m
Analist Group S.r.l.	TermiPlan	No	2017 - 6.0	2017 - 6.1.3
Italsoft Group S.r.l.	Termiko One	No	2.0	2.1.3
Cype Ingenieros S.A.	Cypetherm C.E.	No	2017.a	2017.h
Geo Network S.r.l.	Euclide Certificazione Energetica	No	8.01	8.01p
Mc4Software Italia S.r.l.	Mc4 Suite	No	2017 rel.1.0	2017 rel.1.05
Topoprogram & Service di Giuseppe Mangione & C. sas	Energetika 2000	No	14.00	14.00.018
Edilclima S.r.l.	EC 700 calcolo prestazioni energetiche degli edifici	No	7.0.0	7.2.0

⁵⁰ CTI, Regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI, 2016.

⁵¹ CTI, *Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo*. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>.

Watts Industries Italia S.r.l.	Stima10/TFM	No	10.0	10.0.03
Mc4Software Italia S.r.l.	www.ape-online.it	No	3.0	3.1
Aermec S.p.A.	Masterclima MC 11300	No	3.00	3.09
ENEA e ITC-CNR	DOCET	Sì	3.16.06.47	3.16.06.47
Ing. S. Daniele Alberti e ing. Antonio Mazzon	Lex10 Professional	No	8.00.0010	8.05.0100
Tep s.r.l.	Leto	No	4.0.0.4	4.0.2.5
Mc4Software Italia S.r.l.	Celeste	No	3.0	3.0
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	50.00a BIM	50.00d BIM

1 INTRODUZIONE

Il calore è la forma di energia che può essere trasferita da un sistema a un altro per effetto di una differenza di temperatura. La trasmissione del calore è la scienza che analizza e permette di determinare la rapidità con cui questa energia viene scambiata.

Lo scambio di energia sotto forma di calore avviene sempre dal corpo a temperatura superiore verso il corpo a temperatura inferiore e si interrompe quando i due corpi hanno raggiunto la stessa temperatura, ovvero la temperatura di equilibrio.

I ponti termici sono zone dell'edificio in cui lo scambio del calore tra interno ed esterno non avviene più in modo esclusivamente perpendicolare alla superficie. In queste zone si verifica una maggiore dispersione del calore, la quale può portare anche alla formazione di condensa superficiale, condensa interstiziale o muffa.

2 MODALITÀ DI TRASMISSIONE DEL CALORE

Il calore si trasmette secondo tre modalità differenti: conduzione, convezione e irraggiamento; tutte queste modalità di trasmissione richiedono che sia presente una differenza di temperatura e si manifestano da una regione a temperatura superiore a un'altra a temperatura inferiore.

2.1 Conduzione

Per conduzione termica si intende il trasferimento di energia che avviene per effetto dell'interazione delle particelle di una sostanza, dotate di maggiore energia, con quelle adiacenti dotate di minore energia.

La potenza termica che viene propagata per conduzioni tra due porzioni di corpi adiacenti dipende dalla geometria e dalle caratteristiche del corpo e dalla differenza di temperatura tra le due regioni. L'entità della perdita di calore di un corpo è più grande maggiore è l'area della superficie che lo separa dall'ambiente esterno e minore è la temperatura di quest'ultimo.

La conduzione termica stazionaria è la conduzione che si verifica in regime di temperature che non variano nel tempo, attraverso una parete piana di spessore $\Delta x=L$ e di area A con differenza di temperatura tra le due facce $\Delta T=T_2-T_1$ (Figura 2.1 **Errore. L'origine**

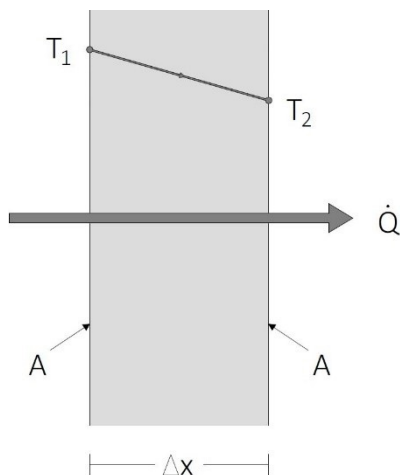


Figura 2.1 – Trasmissione del calore per conduzione

riferimento non è stata trovata.).

Empiricamente si è scoperto che la potenza termica attraverso la parete raddoppia quando raddoppiano la differenza di temperatura ΔT o l'area della superficie A normale alla direzione del trasferimento del calore, e dimezza quando raddoppia lo spessore L della parete. È possibile allora affermare che "la potenza termica trasmessa per conduzione attraverso uno strato di spessore costante Δx è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura ΔT attraverso lo strato e all'area A della superficie normale alla direzione della trasmissione del calore ed è inversamente proporzionale allo spessore dello strato".

La potenza termica per conduzione $\dot{Q}$ si calcola quindi:

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W]$$

Equazione 2.1 – Potenza termica

dove λ [W/mK] è la conduttività termica del materiale, la quale misura la capacità del materiale di condurre calore; essa si può definire come la potenza termica che si trasmette attraverso uno spessore unitario del materiale per unità di superficie e per differenza di temperatura unitaria. Un materiale è un buon conduttore di calore se ha un'elevata conduttività termica, e, analogamente, un materiale con un basso valore di conduttività termica è un cattivo conduttore, ovvero un isolante termico.

Nel caso limite in cui $\Delta x \rightarrow 0$, l'Equazione 2.1 diventa:

$$\dot{Q} = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

Equazione 2.2 – Postulato di Fourier

nota con il nome di “Postulato di Fourier”, dove dT/dx è il gradiente di temperatura. La potenza termica per conduzione è direttamente proporzionale al gradiente di temperatura.⁵²

Per la risoluzione dei problemi legati alla conduzione si considera, per semplicità, un sistema costituito da resistenze termiche conduttive, le quali corrispondono al rapporto tra lo spessore della parete e il prodotto della conduttività con l’area della superficie:

$$R_{cd} = \frac{\Delta x}{\lambda A} \quad [K/W]$$

Equazione 2.3 – Resistenza termica conduttiva

Esse dipendono dalle caratteristiche geometriche e del materiale e sono pertanto proprie di ogni parete.

Nel caso in cui una parete sia costituita di più strati (Figura 2.2) le resistenze si dicono in serie e la resistenza totale si calcola come somma delle singole resistenze degli strati della parete:

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_{ti}$$

Equazione 2.4

⁵² Y. A. Cengel, G. Dall’Ò, L. Sarto, *Fisica Tecnica Ambientale*, Università degli studi di Padova, McGraw – Hill Education, 2017, pp. 410-418.

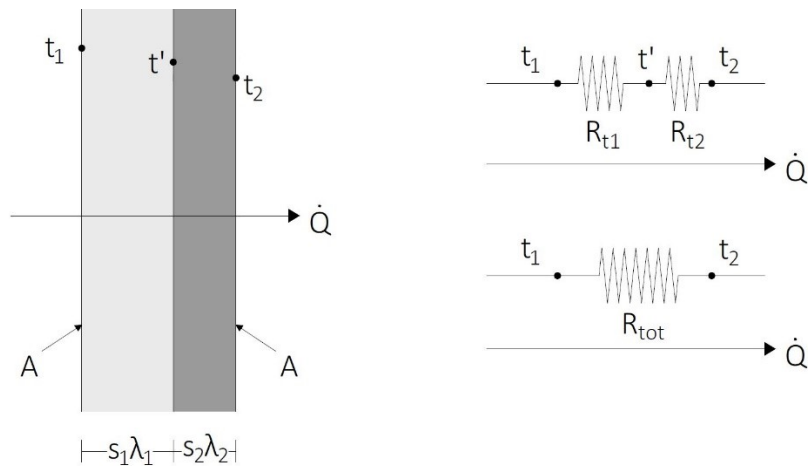


Figura 2.2 – Esempio resistenze in serie

Se invece una parete è costituita da due pareti sovrapposte (Figura 2.3) le resistenze saranno in parallelo, e il reciproco della resistenza totale si calcola come la somma dei reciproci delle singole resistenze di ogni materiale:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{ti}}$$

Equazione 2.5

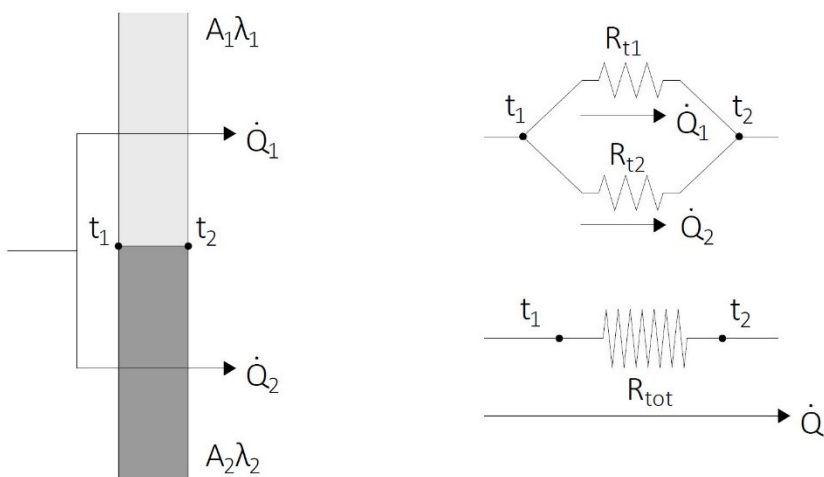


Figura 2.3 – Esempio resistenze in parallelo

La potenza termica per conduzione $\dot{Q}$ si calcola quindi:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \quad [W]$$

Equazione 2.6 – Calcolo potenza termica per conduzione

2.2 Convezione

La convezione è la modalità di trasferimento di energia termica tra una superficie solida e un liquido adiacente in movimento, ovvero una combinazione di conduzione e trasporto di massa.

Il calore trasmesso per convezione aumenta quando aumenta la velocità del fluido e, in assenza di trasporto di massa, la trasmissione di calore tra la superficie e il fluido avviene solo per conduzione.

Viene chiamata convezione forzata quando il fluido viene forzato a scorrere sulla superficie tramite dispositivi esterni, mentre si chiama convezione naturale, o libera, quando le cause del movimento del fluido sono le forze ascensionali che vengono indotte dalle differenze di densità dovute alle variazioni di temperatura nel fluido.

La potenza termica trasmessa per convezione $\dot{Q}_{conv}$ viene descritta dalla Legge di Newton per il raffreddamento:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_{spf}(T_{spf} - T_{\infty}) \quad [W]$$

Equazione 2.7 – Legge di Newton per il raffreddamento

dove h è il coefficiente di trasmissione del calore per convezione [W/m^2K], A_{spf} è l'area della superficie attraverso sulla quale avviene la trasmissione di calore per convezione, T_{spf} è la temperatura della superficie e T_{∞} la temperatura del fluido, a distanza sufficientemente grande dalla superficie poiché all'interfaccia le due temperature sono uguali.

Il parametro h , ovvero il coefficiente di trasmissione del calore per convezione, è un parametro determinato sperimentalmente e il suo valore dipende da tutte le variabili che influenzano la convezione, ovvero la geometria della superficie, la natura del moto, le proprietà e la velocità del fluido. Differentemente dalla conduttività termica λ , h non è una proprietà del materiale.

La convezione è essenzialmente una conduzione in presenza di un fluido in moto.

La resistenza convettiva, a differenza di quella conduttiva, si calcola come il reciproco del prodotto tra l'area della superficie e il coefficiente di trasmissione del calore per convezione, ovvero h :

$$R_{cv} = \frac{1}{hA} \quad [K/W]$$

Equazione 2.8 – Resistenza termica convettiva

Nel caso in cui sia presente una parete piana tra due ambienti con aria in movimento (Figura 2.4) le resistenze sono in serie, pertanto si calcola, anche in questo caso, la resistenza totale come somma delle singole resistenze.

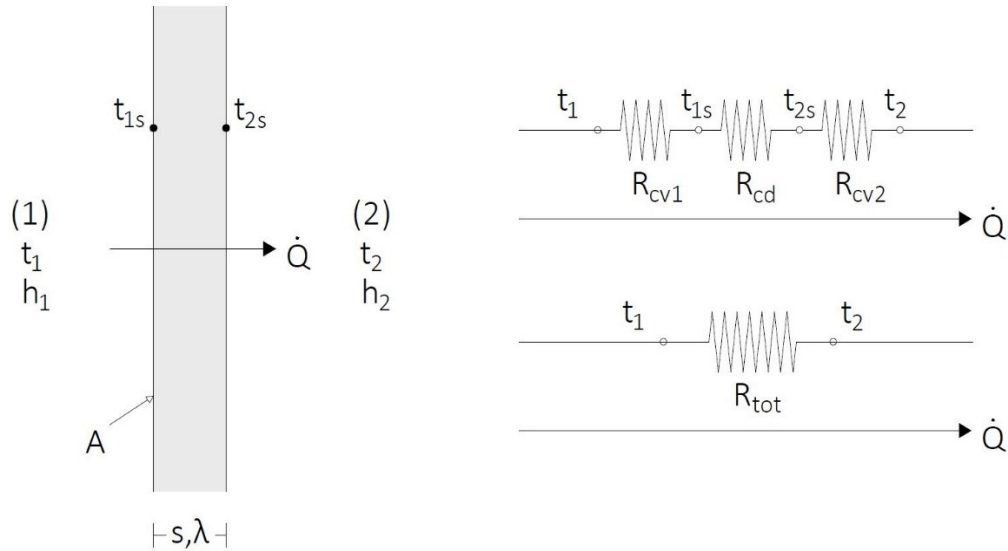


Figura 2.4 – Esempio combinazione convezione e conduzione

2.3 Irraggiamento

Per irraggiamento si intende l'energia emessa da una sostanza sotto forma di onde elettromagnetiche come risultato delle modificazioni nelle configurazioni elettroniche degli atomi o delle molecole. Questa modalità di trasmissione del calore non richiede la presenza di un mezzo interposto come le due precedenti, bensì avviene alla velocità della luce e non subisce attenuazioni nel vuoto.

Ogni corpo, con temperatura superiore a 0 gradi Kelvin, emette una radiazione chiamata radiazione termica; il valore massimo di radiazione che un corpo può emettere, riferita alla superficie di area unitaria, è dato dalla legge di Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{emis,max} = \sigma T_{spf}^4 \quad [W/m^2]$$

Equazione 2.9 – Legge di Stefan-Boltzmann

dove $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K)}$ è la costante di Stefan-Boltzmann e T_{spf} è la temperatura, espressa in Kelvin, della superficie del corpo.

La superficie ideale che emette, tramite irraggiamento, questa potenza massima si chiama corpo nero e la sua radiazione rappresenta la massima quantità di radiazione che può essere emessa da una superficie a una certa temperatura. La radiazione che viene emessa da qualsiasi superficie reale è minore di quella emessa dal corpo nero, a parità di temperatura, e si calcola come:

$$\dot{Q}_{emis} = \varepsilon \sigma A_{spf} T_{spf}^4 \quad [W]$$

Equazione 2.10 – Calcolo potenza termica per irraggiamento

in cui A_{spf} è l'area della superficie del corpo e ε è l'emissività della superficie, che ha un valore compreso tra 0 e 1; il corpo nero è l'unico ad avere un'emissività pari a 1.

La potenza termica netta trasmessa per irraggiamento è la differenza tra la potenza termica radiante emessa e quella assorbita dalla superficie; quando la potenza radiante assorbita è maggiore di quella emessa si dice che la superficie guadagna energia per irraggiamento, mentre, nel caso opposto, la superficie perde energia per irraggiamento.

Al fine della determinazione della potenza termica netta scambiata per irraggiamento tra due superfici è necessario conoscere il loro orientamento relativo e le caratteristiche del mezzo presente tra di esse. Nel caso in cui siano presenti due superfici, una con emissività ε , temperatura T_{spf} e area A_{spf} interamente contenuta nell'altra, la quale possiede un'area molto più grande e a temperatura T_{amb} e separate da un gas che non interferisce con la radiazione, la potenza che viene scambiata tra esse per irraggiamento $\dot{Q}_{irr}$ è di:

$$\dot{Q}_{irr} = \varepsilon \sigma A_{spf} (T_{spf}^4 - T_{amb}^4) \quad [W]$$

Equazione 2.11

Quando la superficie è circondata da un gas in movimento l'irraggiamento avviene contemporaneamente alla convezione, pertanto, la potenza termica si dovrà determinare sommando i due contributi; si definisce un coefficiente di trasmissione del calore combinato h_{comb} che include gli effetti della convezione e dell'irraggiamento. In questo modo, la potenza termica totale trasmessa $\dot{Q}_{tot}$ da o verso una superficie A_{spf} per convezione e per irraggiamento è data da:

$$\dot{Q}_{tot} = h_{comb} A_{spf} (T_{spf} - T_{\infty}) \quad [W]$$

Equazione 2.12

L'irraggiamento prevale sulla conduzione e sulla convezione naturale ma risulta trascurabile rispetto alla convezione forzata.⁵³

Nel caso in cui la trasmissione di calore avvenga attraverso un muro costituito da due pareti con, al loro interno, un'intercapedine d'aria (Figura 2.5), non è possibile calcolare le resistenze e svolgere il calcolo analogamente a quanto visto in precedenza. È necessario, in questo caso, calcolare la potenza termica per conduzione e per irraggiamento e risolvere il sistema composto dalle due equazioni.

⁵³ Y. A. Cengel, G. Dall'Ò, L. Sarto, *Fisica Tecnica Ambientale*, Università degli studi di Padova, McGraw – Hill Education, 2017, pp. 419-420.

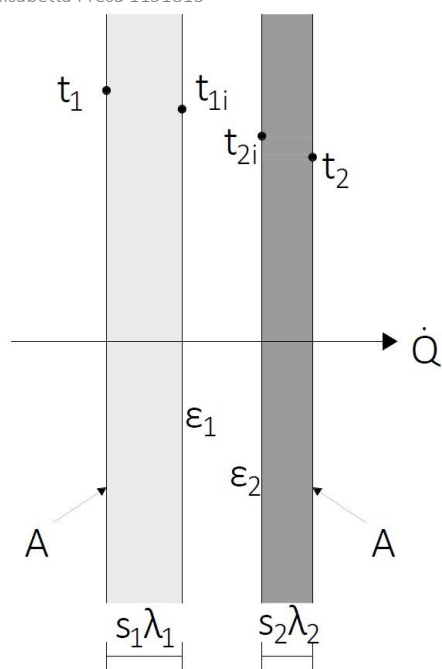


Figura 2.5 – Esempio combinazione conduzione e irraggiamento

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{s_1} (t_1 - t_{1i}) = \frac{\lambda_2}{s_2} (t_{2i} - t_2)$$

$$\dot{Q} = \frac{\sigma(t_{1i}^4 - t_{2i}^4)}{(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} - 1)} = \frac{\lambda_2}{s_2} (t_{2i} - t_2)$$

Equazione 2.13

3 PONTI TERMICI

Quando le dispersioni termiche hanno luogo attraverso i componenti edilizi, viene usata la trasmittanza (U) per descriverle. La trasmittanza U rappresenta la quantità di calore che attraversa un metro quadro di superficie quando è sottoposta a una differenza di temperatura di 1 grado Kelvin; la sua unità di misura è W/m²K e minore è la trasmittanza termica meno calore viene disperso dalla struttura, e viceversa. Questa definizione appena illustrata pone le basi sull'ipotesi semplificativa di flusso monodirezionale, ipotesi che considera che il calore si propaghi solamente nella direzione perpendicolare alla superficie dell'elemento considerato. Considerando questa ipotesi si ha che:

- i punti che appartengono a uno stesso piano parallelo alla struttura sono a uguale temperatura, e questi piani vengono definiti “piani delle isoterme”; il flusso di calore è pertanto perpendicolare alle isoterme;
- la temperatura diminuisce progressivamente dall'interno verso l'esterno, in funzione delle resistenze termiche degli strati componenti la struttura; ciò

avviene con un andamento lineare.

Ci sono alcune zone appartenenti al sistema edificio in cui non è più valida l'ipotesi di flusso monodirezionale; in esse si ha una distorsione delle isoterme che non sono più parallele tra loro e alla superficie disperdente, ma assumono un andamento curvilineo. Queste zone prendono il nome di ponti termici.

Il flusso di calore rimane sempre perpendicolare alle isoterme e per questo motivo, nella zona del ponte termico, si ha una maggiore concentrazione delle linee di flusso con andamento bidirezionale, per esempio nel caso degli angoli formati da due pareti verticali, o tridimensionale, nel punto in cui si intersecano due pareti verticali e un solaio. In queste zone dove si concentra il flusso termico avviene il raffreddamento delle superfici prossime al ponte termico e anche la riduzione del grado di isolamento complessivo della parete.

Non solo la geometria dell'involucro influisce sulla modalità di propagazione del calore ma anche la presenza di elementi che interrompono la continuità della struttura considerata. Ad esempio, se è presente un pilastro all'interno della parete, in prossimità di esso le isoterme si allontaneranno a causa della sua maggiore conducibilità termica. Questo distorce il campo termico, poiché, siccome le particelle del pilastro hanno una temperatura inferiore a quelle adiacenti, il calore si trasferisce spontaneamente verso di esse, dalle particelle con temperatura maggiore.

Quando il flusso di calore non è più monodirezionale si parla di trasmittanza termica lineica (ψ) e, se la dispersione si verifica in un punto, si parla di trasmittanza termica puntuale (χ). La trasmittanza termica lineica rappresenta la differenza tra la dispersione termica in due direzioni del nodo geometrico/strutturale, e quanto esso disperderebbe se il ponte termico non ci fosse; si può dire che rappresenta il flusso di calore disperso dal ponte termico per ogni metro di lunghezza e per una differenza di temperatura di 1 grado Kelvin; la sua unità di misura è W/mK. Analogamente, la trasmittanza termica puntuale rappresenta il flusso di calore aggiuntivo di un singolo punto di dispersione; l'unità di misura è W/K.

La norma UNI EN 10211 valuta l'area di influenza come il triplo dello spessore dell'elemento considerato, o comunque 1 metro; oltre a questa distanza il flusso torna ad essere monodimensionale e perpendicolare alla struttura.

3.1 Tipologie di ponti termici

Nei ponti termici quindi il flusso di calore assume un andamento differente dal resto della struttura. In questi punti si verifica un aumento delle dispersioni di calore e di conseguenza una diminuzione della temperatura superficiale, che causa la formazione di condensa, superficiale o interstiziale, e, nel peggiore dei casi, di muffa.

I ponti termici si individuano da due tipi di discontinuità: geometriche o termiche. Le prime sono causate dalla diversa geometria delle chiusure, ad esempio nell'angolo tra due

pareti verticali o da una variazione di spessore di un elemento edilizio; le seconde invece sono causate dalle diverse caratteristiche di isolamento termico dei materiali che compongono la chiusura, ad esempio la presenza di un pilastro o di altri elementi strutturali. Esistono casi anche di discontinuità miste, ovvero di presenza, allo stesso momento, di discontinuità geometriche e termiche.

I ponti termici possono essere riferiti alle dimensioni nette interne oppure a quelle lorde esterne. Nel primo caso non viene tenuto conto degli incroci in prossimità dei ponti termici, nel secondo caso sì. Scegliere una o l'altra modalità di riferimento non influisce sul calcolo del ponte termico.

La norma UNI EN ISO 14683 vengono indicate le principali tipologie di ponte termico (Figura 2.6):

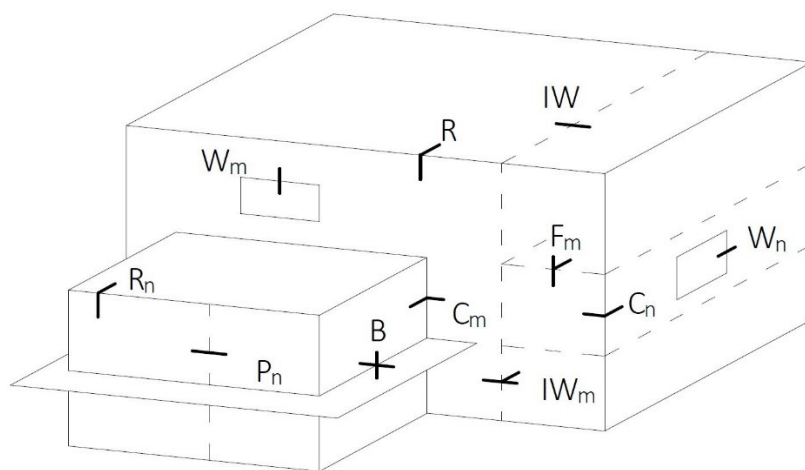


Figura 2.6 – Tipologia di ponti termici secondo la norma UNI EN ISO 14683

- R ponte termico di copertura: dalla connessione tra il solaio di copertura e la parete verticale;
- C ponte termico d'angolo: dall'intersezione di due pareti verticali, verso l'interno C_n o verso l'esterno C_m ;
- F ponte termico di pavimento: dalla connessione dei basamenti e delle pareti rivolti verso l'esterno o verso ambienti non riscaldati;
- IW ponte termico dovuto alle pareti interne: dalla connessione tra la parete divisoria interna e la parete esterna;
- P ponte termico dovuto ai pilastri: dato dalla presenza di un pilastro che interrompe la continuità dell'isolante della parete;
- B ponte termico dovuto ai balconi: viene interrotta la continuità dell'isolamento della parete esterna da un elemento orizzontale che collega l'ambiente interno con quello esterno;
- W ponte termico degli infissi: è dato dall'inserimento di un serramento che

interrompe la continuità dell'isolamento termico della parete o della copertura. Ci sono due tipi di ponte termico: il davanzale e il cassonetto. Il davanzale è dovuto alla presenza di un elemento di diverso materiale che viene appoggiato sulla parete e mette in comunicazione l'ambiente interno con quello esterno; il cassonetto è legato alla presenza di una scatola rivolta verso l'ambiente interno da un elemento portante esterno che contiene la tapparella. La variazione di spessore della parete esterna e i diversi materiali portano a un incremento delle dispersioni concentrate al di sopra della finestra.

3.2 Trasmittanza termica media e coefficiente di scambio termico globale

Con il Decreto Requisiti minimi del 2015 si è stabilito che la trasmittanza non può prescindere dal calcolo dei ponti termici nelle verifiche termoigrometriche. La trasmittanza termica media (U_{media}) e il coefficiente di scambio termico globale per trasmissione (H'_T) sono i parametri che è necessario confrontare con i limiti normativi.

La trasmittanza termica media è definita nella norma UNI 14683 e si calcola come:

$$U_{media} = \frac{\sum_i U_i A_i + \sum_k f_p \psi_k l_k}{A_{tot}} \quad [W/m^2K]$$

Equazione 2.14

In cui A_{tot} è l'area totale della struttura considerata, U_i è la trasmittanza termica dell'elemento i-esimo che compone la struttura, A_i è l'area dell'elemento i-esimo, ψ_k è la trasmittanza lineica del ponte termico k-esimo [W/mK], l_k è la lunghezza del ponte termico e f_p è il fattore di ponderazione del ponte termico, il quale ha un intervallo da 0,5 a 1 (assume il valore di 0,5 quando il ponte termico è in angolo, poiché metà compete a una parete e l'altra metà compete alla seconda parete, e di 1 nel caso in cui un pilastro sia interno a una parete).

Il coefficiente medio di scambio termico globale per trasmissione, riferito all'unità di superficie disperdente, è definito come:

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_i A_i} = \frac{H_D + H_G + H_U + H_A}{\sum_i A_i} \quad [W/m^2K]$$

Equazione 2.15

Si calcola quindi come la somma dei coefficienti di scambio termico per trasmissione verso l'ambiente esterno (H_D), verso il terreno (H_G), verso gli ambienti non climatizzati (H_U) e verso ambienti climatizzati a temperature diverse (H_A), diviso la sommatoria di tutte le superfici degli elementi di involucro opachi e trasparenti ($\sum_i A_i$).

Il coefficiente di trasmissione generico viene calcolato come:

$$H_x = b_{tr,x}(\Sigma_i U_i A_i + \Sigma_k \psi_k l_k + \Sigma_j \chi_j) \quad [W/K]$$

Equazione 2.16

In cui χ è la trasmittanza termica del ponte termico puntuale e $b_{tr,x}$ è un fattore di correzione che dipende dalla temperatura dell'ambiente sull'altro lato dell'elemento, vale 1 solo se l'elemento costruttivo separa l'ambiente abitato dall'aria esterna. H_T rappresenta una trasmittanza termica media dell'involucro edilizio ponderata sulle aree, la quale tiene conto dei componenti opachi, di quelli trasparenti, dei ponti termici e dei salti di temperatura relativi a ogni elemento costruttivo.

3.3 Incidenza sui consumi energetici

I ponti termici, provocando un aumento di dispersione del calore, provocano conseguentemente un aumento dei consumi energetici.

Rispetto a edifici esistenti privi di isolamento, negli edifici di nuova costruzione con più alto livello di isolamento, l'incidenza negativa dei ponti termici è maggiore, in percentuale. Infatti, se la trasmittanza U dell'involucro di un edificio diminuisce, aumenta l'effetto negativo dei ponti termici; la loro influenza non deve pertanto essere sottovalutata. Nel Grafico 2.1 si nota come, al migliorare della trasmittanza, ovvero al suo diminuire, l'incidenza in percentuale dei ponti termici cresce.

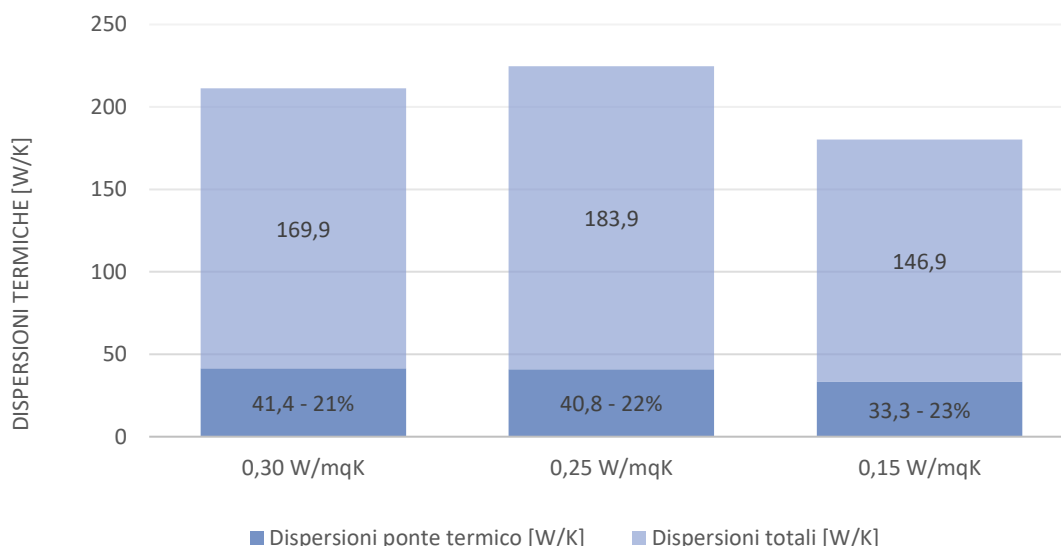


Grafico 2.1 – Incidenza delle dispersioni dei ponti termici in funzione dell'isolamento termico delle pareti esterne di un edificio [A. Gorrino, *Sviluppo e validazione di modelli di calcolo della prestazione energetica dell'edificio: ponti termici e componenti speciali di involucro* – Tesi di dottorato 2012, Politecnico di Torino, 2011]

Anche l'incidenza dei ponti termici nel periodo estivo non va sottovalutata; in questo caso la dispersione di calore è entrante nell'edificio. L'impianto di raffrescamento riduce i

carichi termici interni, prodotti dalla presenza di persone ed elettrodomestici, e quelli esterni, dovuti all'irraggiamento solare; nel caso in cui sono presenti ponti termici si avrà un maggiore consumo dell'impianto.

3.4 Conseguenze della presenza dei ponti termici

In presenza di particolari condizioni ambientali, il vapore acqueo contenuto nell'aria condensa.

L'umidità è la quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria. Può essere espressa come umidità assoluta, ovvero la quantità di grammi di vapore contenuti in un kg di aria, oppure come umidità relativa (UR), ossia un valore percentuale espresso in riferimento al massimo quantitativo che l'aria può contenere prima della saturazione. L'umidità relativa dell'aria dipende dalla temperatura di essa, poiché maggiore è la temperatura e maggiore è la quantità di vapore che può contenere senza raggiungere la saturazione.

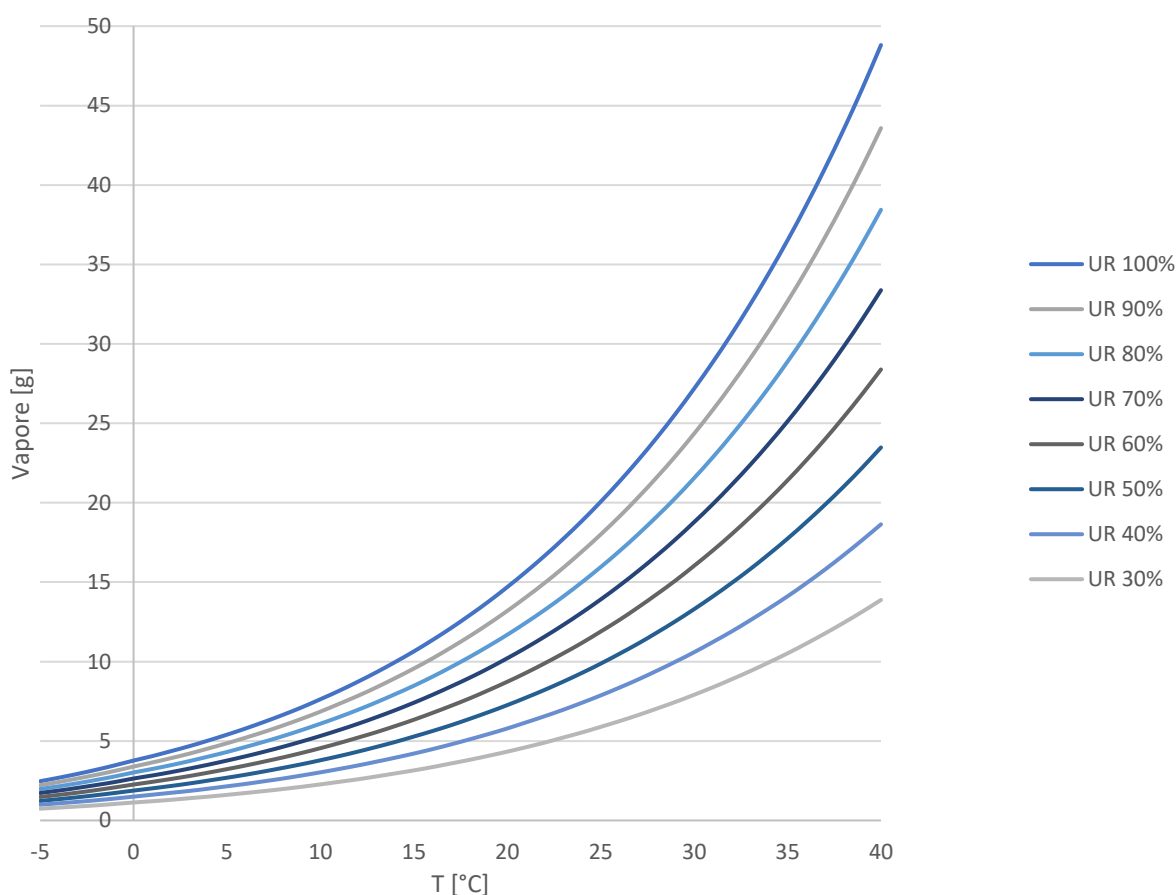


Grafico 2.2 – Diagramma psicrometrico

Nel Grafico 2.2 sono presenti le curve corrispondenti a determinati valori di umidità relativa dell'aria. La curva corrispondente a un UR pari al 100% è la curva che indica la

saturazione; a sinistra di tale curva si individuano tutti i punti corrispondenti a una condizione di condensazione. Si nota che a parità di grammi di vapore acqueo contenuti in un kg di aria (asse delle ordinate), più l'aria è calda più è lontana dalla condizione di saturazione. Le condizioni per cui avviene la saturazione dell'aria si verificano quindi per aumento dell'umidità assoluta o per diminuzione di temperatura. La temperatura a cui si verifica la saturazione, per valori definiti di umidità assoluta, prende il nome di temperatura di rugiada; essa è molto importante per la fisica dell'edificio poiché è correlata ai fenomeni di condensazione superficiale delle pareti.

A differenza dei fenomeni di condensazione, la formazione di muffa si ha anche quando l'umidità relativa ha valori dell'80%, per cui la temperatura alla quale queste si formano è maggiore della temperatura di rugiada.

Siccome nei ponti termici si verifica un abbassamento di temperatura rispetto alle altre parti dell'edificio, aumenta il rischio di formazione di condensa superficiale, interstiziale e di muffa, e perciò devono essere tenuti sotto controllo.

3.5 Quadro normativo

Si riporta un elenco delle principali normative di riferimento per il tema dei ponti termici.

3.5.1 UNI EN ISO 13788

La norma UNI EN ISO 13788 "Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale – Metodi di calcolo" riporta alcuni criteri di intervento finalizzati alla modifica delle strutture non idonee nella valutazione della condensa interstiziale. Vengono descritti, al suo interno, alcune linee di intervento quando non sono verificati i criteri normativi.

Un migliore comportamento igrometrico della struttura si ottiene intervenendo sulla disposizione degli strati dell'involucro:

- Verso il lato più esterno si dispongono gli strati con una resistenza termica maggiore (cappotto isolante);
- Verso il lato più interno si dispongono gli strati con maggiore resistenza alla diffusione del vapore; le barriere al vapore impediscono al vapore di migrare verso l'esterno, e in questo modo evitano la formazione di condensazione interstiziale all'interno della struttura.

Il decreto del 26 giugno 2015 ha evidenziato l'importanza di assicurare l'assenza di muffe, con un riferimento particolare alle zone dei ponti termici. Nella pratica, questo si traduce nel garantire che, sulla superficie interna del ponte termico, ci sia una temperatura T_{si} maggiore, oltre che della temperatura di rugiada, anche della temperatura critica ($T_{critica}$), ovvero la temperatura per la quale si ha un'umidità relativa dell'80%.

Il parametro igrometrico che mette in relazione la temperatura interna (T_i), la temperatura esterna (T_e) e la temperatura della superficie interna del ponte termico (T_{si}) è il fattore di temperatura (f_{Rsi}), definito nel seguente modo:

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e}$$

Equazione 2.17

La verifica prevista dalla norma UNI EN 13788 consiste nel confrontare il fattore di temperatura f_{Rsi} con il fattore di temperatura del mese più a rischio $f_{Rsi,max}$, il quale si calcola considerando la temperatura critica $T_{critica}$ al posto della temperatura superficiale interna T_{si} ; se il primo è maggiore del secondo la verifica è soddisfatta, e comunque, in generale, si cerca di avere un valore più alto possibile.

Il fattore di temperatura varia da 0 a 1 e rappresenta l'abbassamento della temperatura superficiale interna rispetto alla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno, in percentuale. Il fattore vale 1 nella condizione ideale in cui la temperatura sulla superficie del ponte termico si eguaglia a quella interna dell'ambiente, mentre vale 0 quando la temperatura superficiale del ponte termico è uguale a quella esterna; entrambe queste situazioni non si verificano mai realmente.

I parametri che influiscono sulla formazione di condensa superficiale o di muffa sono quindi:

- Le condizioni climatiche esterne;
- Il parametro f_{Rsi} , ossia la qualità termica dell'involucro;
- La quantità di vapore prodotta internamente;
- La temperatura interna e il sistema di riscaldamento.

3.5.2 UNI EN ISO 12211:2008

La norma UNI EN ISO 12211 del 2008 "Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Calcoli" è la principale norma necessaria al calcolo analitico con il metodo agli elementi finiti per i modelli geometrici bidimensionali e tridimensionali. Con tale metodo si può stimare l'andamento dei flussi termici che attraversano i componenti e il relativo campo delle temperature.

3.5.3 UNI EN ISO 14683:2008

La norma UNI EN ISO 14683 del 2008 "Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento" riporta i requisiti per la creazione dei cataloghi dei ponti termici e i valori di riferimento della trasmittanza termica lineica dei ponti termici più comuni.

3.5.4 UNI EN ISO 6946:2008

Questa norma, con titolo “Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo”, indica il metodo di calcolo che serve per la valutazione della trasmittanza termica delle chiusure opache. Viene anche proposto un metodo di calcolo per la correzione delle dispersioni termiche dei fissaggi meccanici per ottenere una trasmittanza termica puntuale al fissaggio.

3.5.5 UNI EN ISO 13370:2008

La norma “Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo” del 2008 è relativa al calcolo dei parametri di trasmissione termica degli elementi di edifici a contatto con il terreno, e viene incluso l’effetto dei ponti termici; viene tenuto conto dell’interazione tra pavimento e parete, e delle proprietà termiche del suolo.

3.5.6 UNI EN ISO 10077:2012

La norma UNI EN ISO 10077 del 2012 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica” è costituita di due parti, la prima “Generalità” e la seconda “Metodo numerico per i telai”. Viene specificato il metodo di calcolo della trasmittanza termica di finestre e porte. Per calcolare la trasmittanza termica di una finestra si deve tenere conto della trasmittanza termica lineare del ponte termico che si forma nell’attacco tra vetro e telaio. Il calcolo dei ponti termici del telaio è compreso nel calcolo della trasmittanza, tramite il modello numerico, e vengono esclusi i ponti termici dovuti alla posa in opera del serramento.

3.5.7 UNI EN ISO 13788:2013

Tale norma, “Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale – Metodi di calcolo”, specifica i criteri per il calcolo della temperatura e dell’umidità relative superficiali e interne e dei rischi di condensazione superficiale. Si tiene conto anche dei ponti termici quando viene valutata la qualità termica degli elementi dell’involucro.

In questa norma viene proposto un metodo semplificato per lo studio di fenomeni di condensazione interstiziale, chiamato metodo di Glaser. Questo metodo serve a verificare, fissate le condizioni termoigrometriche interne ed esterne, se in una struttura piana inizialmente asciutta, si formi condensa. Se non sono presenti fenomeni di condensazione all’interno della struttura, l’andamento della pressione di vapore, attraverso i vari strati, è una funzione lineare della resistenza. Secondo il metodo di Glaser è possibile stabilire l’andamento della pressione di vapore tramite un procedimento grafico: si confronta la curva che indica l’andamento della pressione di saturazione (curva critica) con quella dell’andamento della pressione nell’interfaccia. Se queste due curve coincidono, in quel punto si verifica la

condensazione.⁵⁴

3.5.8 UNI EN ISO 13789:2008

Nella norma “Prestazione termica degli edifici – Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione – Metodo di calcolo” del 2008, vengono descritte le procedure di calcolo del coefficiente di scambio termico tramite i dati geometrici e termofisici, i quali vengono utilizzati per la determinazione della prestazione energetica degli edifici.

3.5.9 UNI EN ISO 11300-1:2014

Questa norma, “Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva e invernale”, permette la determinazione del fabbisogno di energia termica dell’involucro, relazionato alle sue caratteristiche geometriche, termofisiche, di destinazione d’uso e climatiche. Questa procedura di calcolo descritta tiene conto della dimensione e del coefficiente di trasmissione lineica dei ponti termici come dati di ingressi per i calcoli.⁵⁵

4 OMBREGGIAMENTI

Anche la valutazione degli apporti termici dovuti alla radiazione solare che incide sulle superfici dell’involucro edilizio è determinante per l’esecuzione dell’analisi del comportamento energetico di un edificio. Alcuni fattori influenzano la quantità di radiazione solare che raggiunge l’involucro, ad esempio la località climatica e la topografia del sito in cui è collocato l’edificio, l’orientamento di esso, l’inclinazione delle superfici, le loro caratteristiche fisiche e la presenza di ombreggiamenti.

4.1 Il fattore di riduzione per ombreggiatura

Il fattore di riduzione per ombreggiatura è un fattore di riduzione della radiazione solare incidente necessario per tenere in considerazione l’ombreggiamento permanente, sull’edificio considerato, dovuto alla presenza di ostacoli esterni;

La normativa tecnica UNI/TS 11300-1 introduce due tipi di fattori di riduzione per ombreggiatura, il fattore di riduzione per ombreggiatura diretto ($F_{sh,ob}$) e diffuso ($F_{sh,ob,d}$). Il fattore diretto è usato per il calcolo degli apporti termici mentre quello diffuso si utilizza quando si calcolano le extra dispersioni verso la volta celeste.

Entrambi i fattori di riduzione si calcolano allo stesso modo (Equazione 2.18), a variare

⁵⁴ Teknoring, *Studiare la condensazione interstiziale con il metodo di Glaser: un esempio di calcolo*, 2016. Consultabile in: <https://www.teknoring.com/guide/guide-ingegneria/studiare-la-condensazione-interstiziale-con-il-metodo-di-glaser-un-esempio-di-calcolo/>

⁵⁵ A cura di C. Marinosci, *Quaderno tecnico per il professionista. Ponti termici in edilizia*. Consultabile in: https://www.ingegnereitaliano.it/2018/04_23_ponti_termici.pdf.

sono i dati da inserire, i quali devono essere scelti in riferimento all'ombreggiatura diretta o diffusa, a seconda del fattore che si vuole calcolare:

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \times \min (F_{ov}; F_{fin})$$

Equazione 2.18 – Equazione per il calcolo del fattore di riduzione di ombreggiatura

Dove F_{hor} è il fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzioni esterne, F_{ov} quello relativo agli aggetti orizzontali e F_{fin} quello relativo agli aggetti verticali; i valori di questi fattori sono esposti all'appendice D della normativa sopra citata. Le tabelle in cui sono tabellati i valori relativi all'ombreggiature diretta dipendono dalla latitudine, dall'esposizione dell'elemento ombreggiato, dal clima, dal mese che si considera e dal parametro angolare, quelle in cui sono tabellati i valori relativi all'ombreggiatura diffusa dipendono solo dal parametro angolare.

Per l'ombreggiatura diretta, i fattori di riduzione vengono determinati attraverso l'interpolazione lineare dei valori riportati in tabella, in relazione al parametro angolare, all'orientamento dell'edificio, alla latitudine. Per l'ombreggiatura diffusa, i fattori di riduzione vengono invece determinati attraverso l'interpolazione lineare dei valori riportati ma solo in relazione al parametro angolare.

Gli angoli che caratterizzano le ombreggiature si calcolano secondo una procedura specifica che varia per i componenti vetrati e per le superfici opache. Per i componenti vetrati si considera la superficie esterna degli elementi, comprensiva del telaio, si trova il suo baricentro e si determina la distanza d e la profondità h dell'aggetto all'intradosso, si calcola poi l'angolo che si forma dalle ostruzioni, sempre partendo dal baricentro dell'intero componente finestrato; per le superfici opache si considera sempre la superficie esterna, si trova il baricentro e si determina la distanza d e la profondità h dell'aggetto, poi si procede al calcolo dell'angolo formato dalle ostruzioni, a partire dal baricentro della superficie opaca. Se è presente più di un aggetto si considera solo quello per cui si forma l'angolo massimo, o quello che per esposizione incide maggiormente.⁵⁶

⁵⁶ UNI TS 11300-1:2014

1 INTRODUZIONE

Per lo svolgimento di simulazioni e diagnosi energetiche è ormai diventato indispensabile l'utilizzo di software di analisi, e di essi sono importanti tanto gli aspetti tecnici quanto la possibilità di integrazione con un'ampia serie di altri strumenti con i quali condividere informazioni. In particolare, data l'utilità dell'interoperabilità con la tecnologia BIM, ci si sta portando a focalizzarsi sull'utilizzo di strumenti che siano adottati dalla tecnologia BIM, e soprattutto dal formato IFC, il quale sta diventando la base per l'impostazione di un lavoro che possa essere interoperabile tra più software.

In questo capitolo si illustrano i principali software di analisi energetica utilizzati per svolgere diagnosi e altri calcoli energetici sugli edifici.

Data la volontà di scoprire il grado di interoperabilità con i software BIM dei programmi realizzati da Edilclima, si entra nel particolare soprattutto per quanto riguarda il software EC700, e i moduli ad esso relativi.

2 EDILCLIMA

Edilclima è una delle principali software-house che sviluppa programmi di calcolo per la progettazione impiantistica e per verificare che vengano osservati i vincoli di legge. Ha come obiettivo quello di fornire strumenti di calcolo che siano flessibili e che restituiscano al progettista il ruolo decisionale primario che gli compete, rispettando le esigenze formali e burocratiche.⁵⁷

La software-house ha sviluppato molti software che riguardano la progettazione termotecnica energetica, la progettazione edile integrata, gli impianti e l'acustica e la progettazione antincendio. Verrà approfondito, in questa tesi, l'utilizzo in particolare dei software EC700 "Calcolo prestazioni energetiche degli edifici", EC709 "Ponti termici" e "Mold Simulator" (di Dartwin), EC720 "Diagnosi energetica e interventi migliorativi" e EC770 "Integrated Technical Design for Revit".

2.1 EC700 Calcolo prestazioni energetiche degli edifici

Il software EC700 permette di calcolare le prestazioni energetiche degli edifici in conformità alla norma UNI/TS 11300. I vantaggi di EC700 sono un input grafico intuitivo, calcolo

⁵⁷ <https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/profilo/>

automatico degli ombreggiamenti con definizione grafica, modellazione dei sottoinsiemi impiantistici dettagliata e un'efficace presentazione dei risultati e una guida alla compilazione dei dati. EC700 è il motore di calcolo base a cui possono essere abbinati altri moduli ad esso correlati, integrati in esso o dialoganti, che assieme assolvono alle attività di calcolo progettuale energetico.

Il calcolo dinamico orario delle prestazioni energetiche dell'edificio (secondo la norma UNI EN ISO 52016-1:2018), introdotto in EC700, permette di valutare i fabbisogni energetici dell'edificio e i profili di gestione e utilizzo reali dell'edificio.

All'interno del software è presente un archivio di dati climatici orari di ogni Comune d'Italia in cui sono presenti i valori di temperatura esterna, irradianza solare diretta e diffusa, umidità relativa esterna, pressione del vapore e velocità media del vento; è possibile anche importare questi valori tramite un file CSV di interscambio dati. È possibile, inoltre, definire i profili orari di alcuni parametri quali, per esempio, la temperatura interna di set-point, l'umidità relativa interna di set-point, fattore di occupazione delle zone o dei locali, apporti interni dovuti a persone o apparecchiature, ricambi d'aria, tendaggi e chiusure oscuranti e impianti di ventilazione.

Il calcolo orario degli ombreggiamenti è automatico e avviene tramite una sovrapposizione sul diagramma del percorso del sole del profilo delle ombre di elementi esterni.

I risultati presentati, ovvero il fabbisogno termico per mantenere le temperature di set-point, le temperature interne, il carico massimo per riscaldamento e raffrescamento e fabbisogno latente per umidificazione e deumidificazione, vengono presentati per ogni ora dell'anno sia graficamente che in forma tabellare e sono esportabili in un file CSV.

Un'analisi approfondita dei risultati del calcolo permette la valutazione del corretto dimensionamento dell'impianto termico, delle ore di comfort e discomfort, delle condizioni interne e della temperatura interna estiva massima che si può raggiungere nell'edificio senza l'impianto di raffrescamento.

Per consentire collaborazione e interazione tra i vari progettisti viene consentita l'importazione di file IFC, garantendo così completa interoperabilità tra gli strumenti adottati e il software EC700. In questo modo non è necessario ripetere la modellazione all'interno del software e si passa direttamente alle fasi successive di simulazione e analisi energetica.⁵⁸

2.2 EC709 Ponti termici

Il software EC709 permette di determinare la trasmittanza termica lineica dei ponti termici al variare dei parametri progettuali. Funziona come un software autonomo ma può

⁵⁸ Edilclima, *EC700 Calcolo prestazione energetiche degli edifici (versione 10)*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/700-scheda.pdf>.

essere anche integrato al software EC700. Nel caso in cui venga usato autonomamente si può determinare la trasmittanza termica lineica riferita alle dimensioni interne ed esterne; se viene usato integralmente a EC700 invece la trasmittanza termica lineica sarà riferita solo alle dimensioni esterne. In entrambi i casi viene verificato il rischio di formazione di muffe o di condensa superficiale sul ponte termico tramite la verifica della temperatura critica.

Viene fornito il modello geometrico di ogni ponte termico, l'andamento delle linee di flusso e delle isoterme, la trasmittanza termica lineica in funzione dei parametri progettuali e il fattore di temperatura necessario per la verifica di temperatura critica.

All'interno del software viene fornita una rappresentazione grafica delle varie tipologie di ponte termico e delle disposizioni degli strati di isolante, in modo da facilitare l'individuazione del tipo che si vuole andare a studiare. Le tipologie di ponte termico che il software consente di calcolare sono: giunzioni tra elementi di involucro esterni, giunzioni tra pareti esterne con solai di interpiano e pareti interne, giunzioni tra pareti esterne con solai rialzati o controterra, pilastri in pareti esterne, ponti termici in prossimità di porte o finestre, ponti termici parete-telaio e parete-balcone ricorrenti in edifici oggetto di ristrutturazione.⁵⁹

2.3 Mold Simulator (Dartwin)

Il software Mold Simulator è sviluppato dalla software-house Dartwin. Esso permette di eseguire l'analisi termica e igrometrica di murature, finestre e solai, permettendo di individuare eventuali ponti termici e zone di condensazione superficiale e interstiziale. È possibile:

- calcolare le caratteristiche termiche degli elementi costruttivi, di finestre e telai; stabilite le caratteristiche dei materiali e le condizioni al contorno, tramite il metodo agli elementi finiti, si ottiene la distribuzione di temperature e flussi termici lungo tutta la sezione;
- calcolare la trasmittanza termica lineica del ponte termico;
- identificare le zone di condensazione superficiale secondo la norma UNI 13788-2012;
- eseguire l'analisi di Glaser per la verifica della formazione di condensazione interstiziale (ed eventuale evaporazione), come indicato nella UNI 13788-2012.⁶⁰

2.4 EC720 Diagnosi energetica ed interventi migliorativi

Il software EC720, integrato a EC700, permette di svolgere tutti i passaggi che costituiscono la diagnosi energetica: vengono confrontati i consumi calcolati e i consumi reali validando così il modello di calcolo; vengono modellati i possibili interventi di riqualificazione

⁵⁹ Edilclima, *EC709 Ponti termici*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/709-scheda.pdf>.

⁶⁰ Manuale d'uso Mold Simulator

energetica; si effettua una valutazione economica degli interventi; si formula il rapporto finale, o relazione di diagnosi energetica.

Con EC720 è possibile creare delle “stagioni” articolate in “periodi di osservazione” per i quali si calcolano i consumi corrispondenti ai singoli contatori, definita la temperatura esterna media. Il confronto tra i consumi calcolati e i consumi reali può poi avvenire, per ciascuna stagione, su base annua o attraverso la firma energetica, ed è possibile effettuare il confronto per ogni singolo servizio.

Vengono poi simulati differenti scenari di riqualificazione energetica e si confrontano tra di loro. La simulazione può avvenire tramite la modalità “interventi precostituiti”, per cui la simulazione degli scenari di intervento avviene tramite un configuratore che comprende una serie di interventi tipici, oppure tramite la modalità di “confronto lavori”, per cui il confronto avviene tra il file corrente di EC700, ovvero lo stato di fatto, e un secondo file, nel quale sono state modellate possibili opere di risparmio energetico. EC720 calcola il costo stimato, i risparmi energetico ed economico, la classe energetica raggiungibile e il tempo di ritorno semplice.

Infine, vengono raccolte le valutazioni e i risultati ottenuti nel documento conclusivo di “relazione di diagnosi energetica”, esportabile in formato RTF.⁶¹

2.5 EC770 Integrated Technical Design for Revit

EC770 è un plug-in, creato per il software Revit, che permette di esportare da questo software di authoring tutti i dati necessari per effettuare calcoli energetici con il software EC700. Esso crea dei parametri di progetto all'interno di Revit che permettono la determinazione di ponti termici e ombreggiamenti. Consente di calcolare la trasmittanza termica degli infissi e di definire tutte le superfici disperdenti. Mappati questi valori è possibile compilare, sempre all'interno del plug-in, alcune maschere presenti in EC700. È inoltre possibile svolgere l'associazione dei materiali usati in Revit con quelli dell'archivio Edilclima.

3 ALTRI SOFTWARE PER L'ANALISI ENERGETICA

3.1 Energy Plus

Energy Plus è un software per la simulazione energetica in regime dinamico degli edifici. Con esso è possibile modellare sistemi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e altri flussi di energia. Questo programma è stato sviluppato dal Dipartimento di Energia degli Stati Uniti, ed è basato sulle funzionalità più popolari di altri programmi di simulazione energetica, rendendolo un software di seconda generazione.⁶²

⁶¹ Edilclima, *EC720 Diagnosi energetica ed interventi migliorativi*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/720-scheda.pdf>.

⁶² A. Ursini Casalena, *EnergyPlus vs Designbuilder: Simulazione del Sistema Edificio Impianto in Regime*

Tra le funzioni di Energy Plus esse è opportuno evidenziare la modellazione dei flussi d'aria tra le zone termiche, la definizione dei comandi del sistema HVAC più realistici, gli impianti di riscaldamento e raffreddamento di tipo radiante e, inoltre, l'auto-dimensionamento di specifici parametri per ogni componente rende i risultati precisi e affidabili.

È possibile inserire i dati di input di Energy Plus esclusivamente attraverso file di testo e questo rende il suo utilizzo poco intuitivo, data anche la grande quantità di dati che è necessario inserire per una simulazione energetica. Questo è il limite maggiore che presenta il software, e per sopperire a questa mancanza, utilizza interfacce grafiche esterne. Le più comuni sono Design Builder e Open Studio.⁶³

Energy Plus legge i file in formato IDF, che non sono altro che formati di testo organizzato. Un file in formato IDF può essere creato da Skech Up con il plug-in di Open Studio, grazie al quale il modello geometrico comprensivo di delimitazioni spaziali, aperture e ombreggiamenti, può essere arricchito con le caratteristiche dei materiali e le informazioni necessarie all'analisi termica. Esportando il file IDF e importandolo in Energy Plus è possibile quindi condurre una simulazione attraverso un convenzionale *workflow*.

Un *workflow* alternativo è quello che parte da un software di BIM authoring per la realizzazione del modello. Partendo da un qualsiasi software in grado di esportare un file IFC, è possibile, attraverso uno strumento denominato SBTool, convertire questo file in uno in formato IDF per poter svolgere la simulazione energetica con Energy Plus. Questo metodo, sebbene contenga uno step in più del precedente, ha il vantaggio di far risparmiare molto tempo, potendo utilizzare direttamente il modello BIM e non dovendo modellare una seconda volta l'edificio con un software apposito, ad esempio Skech Up, per poter condurre successivamente la simulazione energetica.⁶⁴

3.1.1 Design Builder

Il software Design Builder è costituito da un'interfaccia semplificata CAD, la più completa per Energy Plus. È possibile, all'interno del programma, modellare i flussi d'aria di Energy Plus, ma ha anche diverse opzioni per l'involucro di facciata, l'analisi dell'illuminazione solare, la simulazione fluidodinamica e il dimensionamento di impianti e sistemi HVAC.

Non sono ancora supportate tutte le potenzialità di Energy Plus e una grande limitazione

Dinamico. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2009/06/07/energyplus-designbuilder-simulazione-edificio-impianto-regime-dinamico.html>

⁶³ C. Marinosci, G. Semprini, Software di simulazione energetica dinamica degli edifici. Consultabile in: https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=Software%20di%20simulazione%20energetica_Marinosci-Semprini_SITO.pdf

⁶⁴ M. A. Goncalves, N. Abreu, *Challenges of exporting an IFC file to integrate the energy simulation analysis workflow*, 2019.

è l'impossibilità di importare i file di input da Energy Plus, che si traduce nel dover rimodellare la geometria per l'analisi energetica.⁶⁵

3.2 Green Building Studio

Green Building Studio è il principale motore di simulazione energetica della software-house Autodesk. Con questo programma è possibile eseguire le simulazioni delle prestazioni degli edifici al fine di migliorare l'efficienza energetica. Il grande vantaggio di questo software è l'interoperabilità poiché è possibile esportare da Revit, ovvero da un software BIM, un file in formato gbXML e importarlo in Green Building Studio per condurne l'analisi.⁶⁶

3.3 MC4Suite

MC4Suite è un programma, realizzato da MC4Software, con il quale è possibile progettare un edificio energeticamente efficiente valutando dinamicamente l'impatto dei materiali, degli impianti e delle tecniche di costruzione. Il software consente la lettura della geometria e il calcolo dello scambio termico da un file in formato IFC, nel quale sono contenute le informazioni che servono per la generazione del disegno tridimensionale.

Per facilitare lo scambio di informazioni tra diversi ambienti di lavoro, il software è in grado di importare ed esportare diversi formati di file. I file di input possono essere in formato IFC per la base architettonica e gli oggetti BIM, DWG, DXF, RVT per la base architettonica e PDF, JPG, GIF, PNG e BMP per i riferimenti esterni. I file di output possono invece essere in formato IFC per i volumi e i dati termici degli ambienti, per gli impianti e per i fori e passaggi nell'involucro, DWG, RVT per la base architettonica, le planimetrie con i dati termici, impiantistici e degli ambienti, DWG (Mc4) per i dati sull'involucro, i calcoli e gli impianti, RVT (Mc4) per i dati involucro e i calcoli, RTF per le relazioni e XLSX per i computi.⁶⁷

3.4 TerMus

TerMus è il software per la certificazione energetica e la redazione dell'attestato di prestazione energetica degli edifici realizzato dalla software-house Acca Software. È diventato col tempo un vero e proprio software BIM, nel quale è possibile compiere una modellazione energetica degli edifici; questa può essere realizzata interamente in TerMus oppure è possibile

⁶⁵ C. Marinosci, G. Semprini, *Software di simulazione energetica dinamica degli edifici*. Consultabile in: https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=Software%20di%20simulazione%20energetica_Marinosci-Semprini_SITO.pdf

⁶⁶ A. Saracino, Autodesk Green Building Studio. Consultabile in: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/autodesk-green-building-studio>

⁶⁷ MC4Software, *Il software professionale come strumento di efficacia nella gestione dell'Efficienza Energetica degli edifici*, 2018. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/21830-il-software-professionale-come-strumento-di-efficacia-nella-gestione-dellefficienza-energetica-degli-edifici>

importare alcuni file in formato DXF, DWG, IFC. È vantaggioso il fatto di poter importare all'interno del programma un file in formato IFC poiché in questo modo vengono riconosciuti gli oggetti BIM e vengono assegnate ad essi le informazioni energetiche, senza doverne realizzare nuovamente la geometria. Inoltre, geolocalizzando il modello BIM, è possibile calcolare automaticamente i ponti termici, i dati climatici, gli orientamenti e gli ombreggiamenti.

Il calcolo dei ponti termici viene realizzato con il metodo agli elementi finiti e sono presenti schemi predefiniti che permettono un calcolo automatico di questi elementi; possono successivamente venire modificati o aggiunti nel caso in cui si voglia aggiustare il modello inserendo informazioni che il software non ha calcolato automaticamente.

Si possono progettare interventi energetici migliorativi, e grazie all'integrazione con la tecnologia BIM, il software permette di:

- confrontare dinamicamente il comportamento energetico dell'edificio, prima e dopo l'intervento;
- calcolare i costi degli interventi progettati;
- comprendere i miglioramenti delle prestazioni energetiche nel modello rappresentante il sistema edificio;
- integrare dinamicamente i costi degli interventi e i modelli energetici del pre e del post intervento.⁶⁸

3.5 Termolog

Termolog è un software BIM per il calcolo dell'efficienza energetica degli edifici prodotto da Logical Soft. Esso viene utilizzato anche per la progettazione di impianti e per lo svolgimento di diagnosi energetiche, anche tramite calcolo dinamico orario.

È possibile creare il modello energetico all'interno del software attraverso il modellatore integrato, oppure è possibile importare un modello BIM in formato IFC. Si possono importare anche disegni in formato DWG e DXF per avere una base per la modellazione.

All'interno del software si modellano anche gli impianti, vengono calcolati i ponti termici e proposti interventi migliorativi integrati con i costi di investimento per la valutazione del risparmio energetico ed economico annuo.⁶⁹

3.6 Virtual Environment

Con IES-Virtual Environment è possibile analizzare le prestazioni energetiche e ambientali degli edifici. È interoperabile con Revit e Sketch Up e questo lo rende uno strumento innovativo per la progettazione dell'architettura sostenibile. In questo software l'edificio è

⁶⁸ <https://www.acca.it/aggiorna/termus>

⁶⁹ <https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica>

simulato come un sistema complesso, viene tenuto conto di diversi fattori come il clima, la posizione, la luce, gli ombreggiamenti, la ventilazione, l'energia, la sicurezza delle utenze e i parametri economici.

Questo software è un ottimo punto di partenza per lo sviluppo di una progettazione integrata che combini le prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto all'architettura al fine di fornire risultati sostenibili.⁷⁰

3.7 Confronto tra software

Nella Tabella 3.1 si confrontano le capacità dei software sopracitati di importare ed esportare i formati aperti gbXML e IFC.

Tabella 3.1 – Confronto file di input nei software per l'analisi energetica

Software	Software-house	Importazione gbXML	Esportazione gbXML	Importazione IFC	Esportazione IFC
Revit	Autodesk	Sì	Sì	Sì	Sì
EC700	Edilclima	No	No	Sì	No
Energy Plus	USDOE	No	No	No	No
Green Building Studio	Autodesk	Sì	Sì	No	No
Mc4Suite	Mc4Software	No	No	Sì	Sì
TerMus	Acca Software	No	No	Sì	Sì
Termolog	Logical Soft	Sì	Sì	Sì	Sì
Virtual Environment	IES	Sì	No	Sì	No

⁷⁰ IES - Software per l'analisi delle performance energetiche e ambientali degli edifici, 2010. Consultabile in: <http://www.energeticorisparmio.com/2010/10/ies-software-per-lanalisi-delle.html?m=1>

1 INTRODUZIONE

Per interoperabilità si intende la capacità di collaborazione tra più sistemi senza che si verifichino errori o mancanze. Esistono due tipi di interoperabilità: orizzontale e verticale. L'interoperabilità orizzontale è anche detta intradisciplinare, ed è la capacità di collaborazione all'interno dello stesso ambito disciplinare; l'interoperabilità verticale è invece interdisciplinare ed è la capacità di creare una collaborazione tra differenti ambiti disciplinari.⁷¹

Per il compimento di analisi energetiche è diventato necessario lo scambio di dati da software di BIM authoring e software che compiono le suddette analisi. Questa interoperabilità è resa possibile dall'esistenza di file aperti non proprietari, i quali permettono lo scambio aperto di informazioni progettuali senza perdita di dati. Il BIM, infatti, per il raggiungimento del suo potenziale, necessita di un meccanismo per lo scambio di dati digitali, indipendentemente dal software utilizzato. Questo permette lo scambio di informazioni tra tutti gli attori del processo edilizio, lavorando così in un sistema realmente aperto.

I formati di file aperti sono definiti dalla norma UNI 11337-1 come formati di file che si basano su sintassi di dominio pubblico e che possono essere utilizzati da tutti i soggetti coinvolti nel lavoro senza condizioni d'uso. L'obiettivo dell'utilizzo di questo tipo di file è quello di garantire che nel lungo periodo sia possibile accedere ai dati senza incertezza riguardo i diritti legali e le specifiche tecniche, concetto riassumibile con il termine "interoperabilità", ma anche di incoraggiare la concorrenza, senza che sia il singolo produttore a controllare il formato proprietario e limitarne l'uso.⁷²

A differenza di quelli appena descritti, formati di file proprietari sono formati che si basano su specifiche sintassi di dominio privato, per cui il loro utilizzo viene limitato a condizioni d'uso stabilite dal proprietario del formato.

L'utilizzo di formati aperti assicura: indipendenza, in quanto tutti hanno la possibilità di sviluppare applicazioni per gestire formati aperti; interoperabilità poiché l'utilizzo dei formati aperti permette a sistemi eterogenei di condividere i medesimi dati; neutralità, viene infatti lasciata all'utente la libertà di scelta del prodotto.

⁷¹ P. Borin, C. Zanchetta, *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2020, pp. 14-15)

⁷² N. Furcolo, *Piattaforme interoperabili e formato IFC nei processi BIM*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/piattaforme-interoperabili-e-formato-ifc-nei-processi-bim/>

2 OPENBIM

Il processo di progettazione e gestione di un edificio coinvolge vari attori, i quali utilizzano strumenti e programmi diversi; per questo motivo diventa molto importante lo scambio di dati e l'interoperabilità tra software.

OpenBIM è la capacità di trasferire informazioni, elimina i limiti e rende trasparenti i processi nel settore delle costruzioni. È un approccio universale alla progettazione, realizzazione e gestione dell'edificio in modo collaborativo basato su standard e flussi di lavoro aperti. Attraverso questo approccio vengono promossi flussi di lavoro collaborativi per progetti meglio coordinati.

L'interoperabilità che viene messa in atto tramite il formato IFC è la base dell'approccio OpenBIM per favorire un flusso di lavoro aperto e trasparente.

OpenBIM è un'iniziativa ideata dalla collaborazione tra buildingSMART International e i principali fornitori di software che supportano lo standard IFC.⁷³

3 INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

IFC è un formato dati aperto che nasce con l'intenzione di facilitare l'interoperabilità tra i vari attori del processo edilizio, quindi per tutto il ciclo di vita dell'opera. Esso fa parte dell'insieme di standard per l'interoperabilità sviluppati da buildingSMART International, e la specifica del modello dati IFC è stata riconosciuta come norma internazionale ISO 16739:2013.⁷⁴

IFC codifica secondo un modello di dati standard, quindi secondo una logica ben definita, l'identità, le caratteristiche e le relazioni che intercorrono tra oggetti fisici, concetti astratti, processi, persone, e tutto quello che è presente nel mondo delle costruzioni.

IFC è un acronimo di Industry Foundation Classes, in cui il termine "Industry" si riferisce all'industria delle costruzioni e del facility management, "Foundation" significa che questo standard è uno strumento che serve alla creazione di una base informativa per l'industria, quindi è di fatto una fondazione, e "Classes" è un termine che viene mutuato dall'informatica, in cui le classi sono qualsiasi cosa sia rappresentativo di un oggetto fisico, di un processo, di una relazione o di altro, che viene però descritta tramite attributi predefiniti che lo caratterizzano.⁷⁵

⁷³ ACCA SOFTWARE, *IFC – OpenBIM, l'importanza del formato aperto dei dati nella progettazione*. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25717-ifc-open-bim-limportanza-del-formato-aperto-dei-dati-nella-progettazione>

⁷⁴ L. Nissim, *IFC: cos'è? E com'è fatto?*, 2015. Consultabile in: <https://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/>

⁷⁵ M. Carradori, *Lo standard IFC e la meccanica della mappatura del dato*, Webinar Graphisoft: IFC, questo sconosciuto: impariamo a conoscere il principale standard alla base dell'interoperabilità, 2020. Consultabile in: <https://youtu.be/BmQHJiaAfSU>

3.1 Storia dello standard IFC

L'iniziativa IFC nasce nel 1994, anno in cui un consorzio industriale decise di investire nello sviluppo di un insieme di classi che potessero supportare lo sviluppo di applicazioni integrate. Nel 1995, l'alleanza, chiamata successivamente International Alliance for Interoperability, aprì le adesioni a tutte le parti interessate e venne ricostituita come organizzazione non-profit con l'obiettivo di sviluppare e promuovere un modello di dati neutro che raccogliesse le informazioni durante tutto il ciclo di vita dell'edificio. Dal 2005 questa alleanza porta avanti le attività tramite BuildingSMART, alleanza a livello mondiale che guida lo sviluppo di uno standard internazionale che porti a sostenere un ampio uso del BIM.⁷⁶

3.2 Architettura dello schema di dati IFC

Le classi di IFC sono suddivise in quattro livelli, o layers, differenti e ordinati in maniera gerarchica. Essi sono, in ordine: *Resource Layer*, *Core Layer*, *Interoperability Layer* e *Domain Layer* (Figura 4.1).

⁷⁶ N. Furcolo, *IFC, cos'è: caratteristiche, vantaggi ed importanza della certificazione IFC*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/>

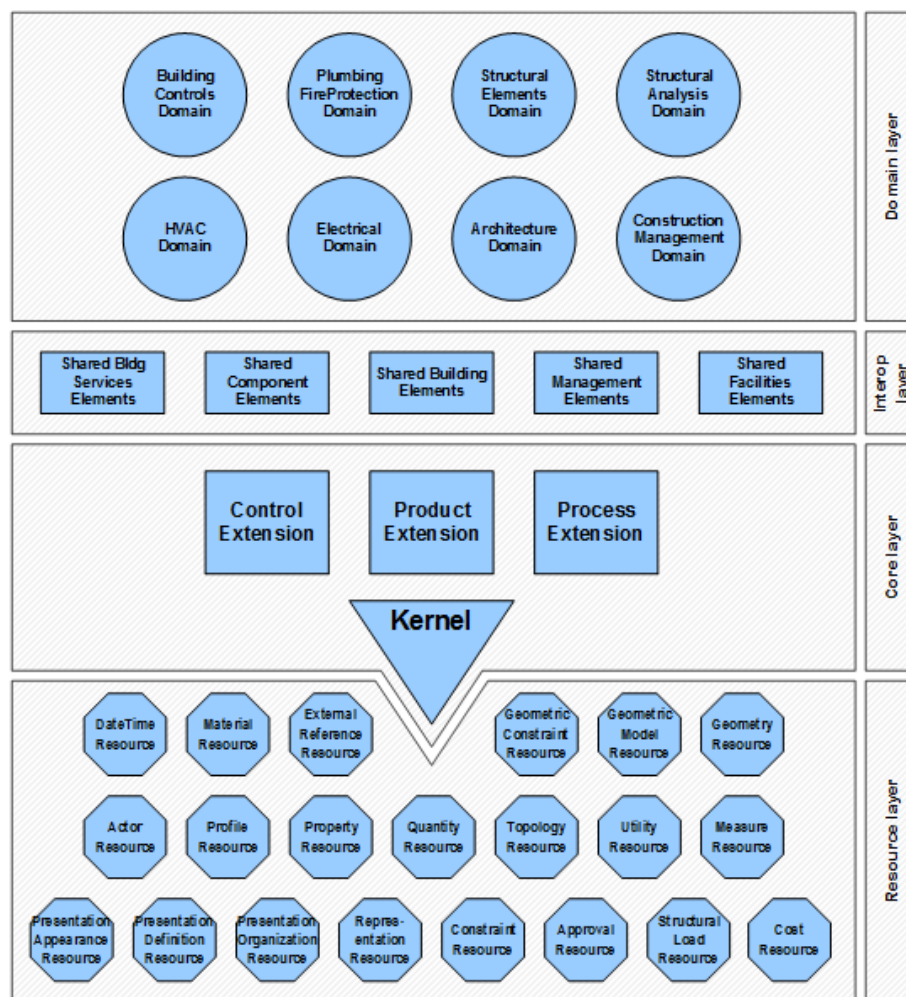


Figura 4.1 – Architettura dello schema di dati IFC (presa da: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/)

Lo schema in Figura 4.1 lo si trova alla sezione “Introduction” dello standard (consultabile nel sito di buildingSMART); in esso sono raffigurati dei “contenitori” (in azzurro) che contengono le classi IFC, raggruppate sulla base della loro funzione nell’economia generale dello standard.⁷⁷

Il *Resource Layer* è il livello inferiore di IFC; in esso sono contenute classi che non appartengono al *supertype IfcRoot* e non si possono utilizzare in modo indipendente, ovvero che non hanno senso di esistere se non per la costituzione e il funzionamento delle altre classi. Sono comunque molto rilevanti in quanto permettono di classificare le classi contenute negli altri layers. Nel *Resource layer* compaiono ad esempio classi di descrizione dei costi, dei materiali, le coordinate temporali e le unità di misura.

⁷⁷ M. Carradori, *Lo standard IFC e la meccanica della mappatura del dato*, Webinar Graphisoft: IFC, questo sconosciuto: impariamo a conoscere il principale standard alla base dell’interoperabilità, 2020. Consultabile in: <https://youtu.be/BmQHJiafSU>

Nel *Core Layer* è presente il *Kernel*, che è il nucleo centrale, e da esso si specificano tre raggruppamenti ulteriori: il *Control Extension*, il quale è legato alla verifica prestazionale degli elementi, durante tutto il ciclo di vita dell'edificio; il *Product Extension*, che contiene le classi del sistema edilizio; il *Process Extension*, nel quale sono comprese le attività per le computazioni economiche e le programmazioni di carattere temporale.

L'*Interoperability Layer* contiene le specializzazioni intermedie delle entità, oggetti e relazioni più specializzati e contenuti in più domini.

Infine, nel *Domain Layer* sono presenti i domini, intesi come settori del processo edilizio; essi contengono classi necessarie per trattare aspetti specifici di diverse discipline.

Tutte le classi, fuorché quelle presenti nel *Resource Layer*, hanno origine dalla classe *IfcRoot*, la quale è presente nel *Kernel*; da essa dipartono i tre rami *IfcObjectDefinition*, *IfcProperty* e *IfcRelationship*.⁷⁸

In IFC si parla di entità semantiche, che significa che ogni elemento assume un significato rispetto all'insieme. Nella logica IFC le istanze hanno una precisa identità, sono in relazione tra loro, hanno una determinata geometria e contengono determinate informazioni (proprietà).

3.2.1 Identità

Un elemento è tale perché a esso viene assegnata un'identità a seconda dell'uso e dello scopo del modello. Nella fase di coordinamento disciplinare di un progetto è importante che vengano riconosciute alcune specificità, le quali dipendono dal processo BIM e sono l'uso del modello e la fase di sviluppo. A seconda della finalità del modello vengono considerati determinati elementi e tralasciati altri, per evitare di appesantire inutilmente il file che viene poi esportato; la stessa cosa può avvenire per le fasi di sviluppo, poiché possono interessare elementi diversi in fasi diverse del progetto.

Le relazioni create da un'istanza IFC sono anche ciò che la definiscono. Le relazioni sono essenzialmente di due tipi: "*part of*" e "*type of*". Per esempio, un elemento può essere costituito da determinati materiali (in questo caso la relazione sarà "*type of*") e può contenere altri elementi, che saranno parte dell'elemento primario (relazione di tipo "*part of*").

Tutti gli elementi ereditano quindi attributi che contribuiscono alla loro definizione. Questi elementi sono organizzati per classi di insiemi secondo una specifica logica classificatoria. Questa logica viene esplicitata con la codifica EXPRESS-G.⁷⁹

⁷⁸ P. Borin, C. Zanchetta, *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2020, pp. 68-70)

⁷⁹ H. Bourg, *L'identità dell'oggetto nel formato IFC*, 2019. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/identita-oggetto-nel-formato-ifc>

EXPRESS è un linguaggio di modellazione dati standard il quale ha permesso di definire, in modo visivo, gli oggetti modellati e le relazioni che intercorrono tra loro. Questo linguaggio si adatta alla descrizione delle strutture statiche e delle loro proprietà in varie aree tematiche. EXPRESS-G, aggiunta del linguaggio EXPRESS, è uno standard di modellazione grafica per i modelli informativi; esso consente la visualizzazione di tipi, entità, attributi e relazioni.⁸⁰

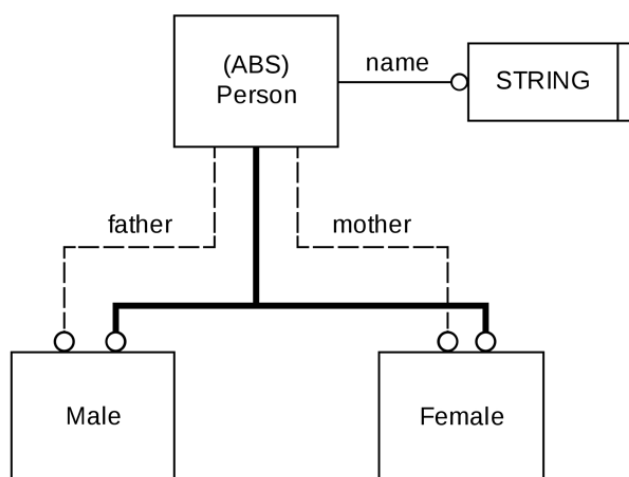


Figura 4.2 – Esempio schema EXPRESS-G (preso da: <https://blog.archicad.it/bim/identita-oggetto-nel-formato-ifc>)

Nella Figura 4.2 si riporta un esempio di una codifica EXPRESS-G, nella quale si evidenziano le gerarchie tra gli elementi e i sub elementi e le loro interdipendenze. La linea spessa definisce in questo caso i caratteri ereditari che definiscono l'oggetto, ovvero la persona, la quale può avere ancora due caratterizzazioni, maschio o femmina. L'entità "*person*" è quindi il *supertype* al quale appartengono due *subtype*, ovvero "*male*" e "*female*". Il collegamento con i sottotipi è di tipo monodirezionale, per cui può essere vera solo una voce tra "*male*" e "*female*". Nello schema viene inoltre disposto un collegamento obbligatorio verso la stringa "*name*" che ne indica appunto il nome. Sono presenti anche due collegamenti opzionali e direzionali, ovvero "*father*" e "*mother*", collegati a loro volta con "*male*" e "*female*": questo collegamento si traduce come "una femmina può svolgere il ruolo di madre per una persona" e "un maschio può svolgere il ruolo di padre per una persona".

Come anticipato, IFC segue le regole dello schema EXPRESS e si definiscono quindi i tipi, le entità, le regole e le funzioni aggiungendo un prefisso "*Ifc*" prima del nome di ogni elemento, il quale deve iniziare con la lettera maiuscola.

In IFC, il termine *IfcObject* indica ogni entità fisica e astratta; queste entità vengono definite tramite le relazioni che istituiscono con altri oggetti e tramite gli attributi che ricevono,

⁸⁰ <https://www.conceptdraw.com/solution-park/software-express-g-data-modeling-diagram>

in eredità, o al proprio livello gerarchico. Ognuno di questi oggetti possiede un nocciolo di informazioni, chiamato *IfcRoot* che rappresenta il numero minimo di informazioni che si devono avere, ovvero: il GUID (*Globally Unique Identifier*), codice unico generato dai software e assegnato a un oggetto; un proprietario, un nome e una descrizione.⁸¹

I concetti fondamentali direttamente connessi alla classe *IfcObject* sono:

- *IfcActor*: definisce gli attori coinvolti nel processo edilizio, facilita l'individuazione di essi includendo specifiche informazioni;
- *IfcControl*: generalizzazione astratta dei concetti che controllano l'utilizzo dei prodotti, dei processi o delle risorse in generale. Sono i vincoli progettuali che influenzano la pianificazione di un progetto;
- *IfcGroup*: raccolta di oggetti, non ha una propria posizione o una rappresentazione di forma, è un'aggregazione topologica;
- *IfcProcess*: rappresenta attività, eventi e procedure. È ordinato nel tempo, ha relazioni di sequenza con altri processi e trasforma un input in un output;
- *IfcResource*: contiene le informazioni che rappresentano costi, pianificazioni e impatti derivanti dall'uso di un bene;
- *IfcProduct*: comprende tutte le entità che si relazionano a un contesto spaziale. Ogni entità ha una posizione specifica che può essere espressa in relazione ad altre entità ma referenziata rispetto al sistema di coordinate del progetto. In questa categoria sono inclusi anche elementi astratti come griglie, annotazioni e azioni.⁸²

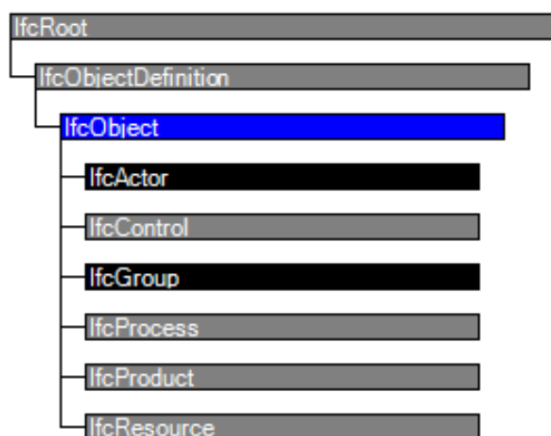


Figura 4.3 – Schema gerarchico *IfcObject* (preso da: <https://www.buildingsmartitalia.org/>)

⁸¹ H. Bourg, *L'identità dell'oggetto nel formato IFC*, 2019. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/identita-oggetto-nel-formato-ifc>

⁸² *Architettura file IFC (parte 1): IfcObjectDefinition*, 2020. Consultabile in: <https://bim.acca.it/architettura-file-ifc-ifcobjectdefinition/>

I componenti di questo sistema gerarchico sono organizzati per elementi e elementi tipo. Gli elementi sono come le singole istanze, e gli elementi tipo sono invece dei tipi che condividono lo stesso set di proprietà, è quindi una categoria più ampia che include diversi elementi sulla base di caratteri comuni.

3.2.2 Relazioni

Le relazioni definiscono le entità in virtù delle interdipendenze con gli altri elementi. sono denominate *IfcRelationship* e si possono suddividere in cinque categorie principali:

- *IfcRelConnects*: relazione di connessione; c'è una precisa gerarchia spaziale-topologica;
- *IfcRelAssigns*: agli oggetti possono essere attribuite altre risorse in termini di pianificazione, processo, tempistica, ecc.;
- *IfcAssociates*: è una relazione di associazione esterna, con altri database o sistemi di classificazione, ecc.;
- *IfcRelDecomposes*: è una relazione tra un elemento e le sue parti, le quali non possono sussistere da sole;
- *IfcRelDefines*: relazione tra le proprietà di un'istanza oggetto e tutti gli altri oggetti che condividono il medesimo set di proprietà.⁸³

3.2.3 Geometria

Ogni oggetto sottotipo di *IfcProduct*, in IFC può essere rappresentato geometricamente, e pertanto deve possedere un valore per *IfcObjectPlacement* e *Representation*. Entrambi sono ereditati dalla definizione di *IfcProduct* e, in particolare, *IfcObjectPlacement* indica il posizionamento del prodotto nello spazio, in termini assoluti e relativi, e *Representation* è la rappresentazione, può essere di vario tipo per gli oggetti ed è legata al suo posizionamento che fornisce il sistema di coordinate. Un oggetto, posizionato nello spazio, ha quindi un posizionamento rispetto al sistema di coordinate assolute e allo stesso tempo anche rispetto a un sistema di coordinate locali dell'oggetto posizionato. Il posizionamento locale è in funzione delle coordinate del punto cartesiano, della definizione degli assi e della direzione di questi.

Sono ammesse tre tipologie di rappresentazione di un oggetto: le geometrie parametriche, le geometrie BREP e le *Bounding Box*. Le geometrie parametriche nascono da un'estrusione lungo una direzione o da una rotazione attorno a un asse, definiti un certo angolo e un certo raggio. La rappresentazione BREP, o Boundary Representation, è costituita da un solido racchiuso da facce che ne costituiscono l'involucro; esse sono poligoni, quindi geometrie bidimensionali, i quali non si possono intersecare ma si connettono esclusivamente con spigoli e vertici. Queste facce sono definite tramite il loro punto di inserimento e le coordinate

⁸³ H. Bourg, Le Relazioni nel formato IFC, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-relazioni-nel-formato-ifc-focus>

cartesiane dei loro vertici. La *Bounding Box* è la rappresentazione di un parallelepipedo considerato il massimo ingombro del solido che in esso è contenuto. Solitamente, quest'ultima forma di rappresentazione illustrata, è utilizzata per analisi di tipo spaziale.

Le geometrie parametriche estruse sono modificabili anche a posteriori in quanto è presente un asse; si può perciò intervenire sui parametri di posizione, direzione e lunghezza di esso, e sulla sagoma della sezione. Tramite la geometria BREP si possono esportare geometrie più precise e dettagliate, con conseguente aumento delle dimensioni del file, ma si perde poi la parametricità dell'oggetto. Viene solitamente usata per computazioni o analisi di coordinamento in cui non è necessario possedere degli assi e modificare la geometria.⁸⁴

3.2.4 Proprietà

Una classe di oggetti viene definita dalle proprietà che eredita dalla classe di grado superiore. Ci sono delle proprietà che determinano la natura delle entità, informazioni che vengono attribuite agli oggetti per il solo fatto che questi esistono: sono chiamate *IfcAttributes*. Si può quindi dire che un'entità acquisisce definizione attraverso gli attributi ereditati dalle classi gerarchicamente superiori ad essa.

IfcPropertyDefinition permette la generalizzazione di tutte le proprietà che è possibile assegnare alle entità, e definisce le informazioni condivise tra più istanze di oggetti; da questa si diramano *IfcPropertySetDefinition* che consente la generalizzazione di set di proprietà, *IfcPropertySet*, ovvero il contenitore di tutte le proprietà relazionate agli oggetti, e *IfcProperty*, che dipende da *IfcPropertySet* e definisce la generalizzazione di tipi di proprietà che si possono associare a oggetti IFC. Tutte le proprietà sono quindi raggruppate sotto la classe *IfcProperty*. Esistono *IfcProperty* semplici (*IfcSimpleProperty*), ovvero generalizzazioni di una singola proprietà, e complesse (*IfcComplexProperty*), costituita da qualunque voce o valore.

I *PropertySet* sono insiemi di proprietà e si associano agli elementi tramite le relazioni che instaurano con gli oggetti; vengono definiti attraverso un nome individuato dal prefisso "Pset". Vengono distinte quattro tipologie di relazione tra i *PropertySet* e gli oggetti:

- *Occurrence Object*: le singole istanze vengono associate alle proprietà;
- *Type Object*: le proprietà in questo caso vengono associate ai tipi, condivise quindi tra tutte le istanze appartenenti allo stesso tipo;
- *Underlying template*: stabilisce una relazione tra un set di proprietà e un set predefinito di proprietà.
- *External reference*: viene usata per collegare entità a sistemi di classificazione esterni.

Analoghi ai *PropertySet* esistono anche i *QuantitySet*, ovvero insiemi di proprietà

⁸⁴ H. Bourg, *La rappresentazione degli oggetti IFC*, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/la-rappresentazione-degli-oggetti-ifc-focus>

quantitative. Anche per *QuantitySet* si relazionano agli oggetti tramite le tipologie di relazione sopra illustrate. In questo caso il prefisso utilizzato è “Qto”.⁸⁵

3.2.5 *IfcAttributes*

Gli attributi possono essere diretti o inversi. Gli attributi diretti vengono compilati, tra parentesi e separati da virgole, in corrispondenza della riga del file IFC relativa alla classe che vanno a definire. Un particolare attributo diretto è il *PredefinedType*, esso, e differenza degli altri, deve essere compilato con una lista di valori predefiniti che lo standard mette a disposizione, i cosiddetti *Enumeration Types*. In particolare, questi tipi enumerativi servono per dare un ulteriore livello di classificazione standardizzato a una determinata classe.

Gli attributi inversi vengono mappati diversamente da quelli diretti; sono infatti definiti inversamente tramite classi di relazione.

3.3 Formati file IFC

Da IFC vengono definiti tre formati di file che possono essere utilizzati:

- IFC-SPF è un formato di testo che viene definito dalla norma ISO 10303-21 “*STEP Physical File*”, ha estensione “ifc” ed è il più utilizzato. Ha dimensioni compatte ma rimane un file leggibile;
- IFC-XML è un formato XML che viene definito dalla norma ISO 10303-28 “*STEP-XML*”, ha estensione “ifcXML” ed è adatto per l’interoperabilità di strumenti XML e per lo scambio di modelli di edifici parziali;
- IFC-ZIP è un file IFC compresso di dimensioni perciò molto inferiori. Ha come estensione “ifcZIP” e quasi sempre può essere letto dalle applicazioni software che supportano IFC. Possono anche venire decompressi.⁸⁶

3.3.1 *Struttura di un file IFC in formato SPF*

Il file IFC in formato SPF ha la caratteristica di poter essere letto aprendolo tramite un editor di testo. In questo modo è possibile fare dei controlli puntuali sul file in questione.

Il testo di un file di questo tipo è diviso in due parti: l’intestazione, chiamata “HEADER”, e il corpo dati, chiamato “DATA” (Figura 4.4).

⁸⁵ H. Bourg, *Le Propriété nel Formato IFC*, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-proprieta-nel-formato-ifc>

⁸⁶ L. Nissim, *IFC: cos’è? E com’è fatto?*, 2015. Consultabile in: <https://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/>


```

ISO-10303-21;
HEADER;
/*****
* STEP Physical File produced by: The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07 : 28 Aug 2013
* Module: EDMstepFileFactory/EDMstandAlone
* Creation date: Thu Dec 30 10:47:35 2021
* Host: DESKTOP-UB5SI66
* Database: C:\Users\ONE\AppData\Local\Temp\74c1ab0c-dcbe-4475-b2cb-d0da987a5889\99884261-3bbd-439f-aa09-264d5b78314a\ifc
* Database version: 5507
* Database creation date: Thu Dec 30 10:44:23 2021
* Schema: IFC4
* Model: DataRepository.ifc
* Model creation date: Thu Dec 30 10:44:24 2021
* Header model: DataRepository.ifc_HeaderModel
* Header model creation date: Thu Dec 30 10:44:24 2021
* EDMuser: sdai-user
* EDMgroup: sdai-group
* License ID and type: 5605 : Permanent license. Expiry date:
* EDMstepFileFactory options: 020000
*****/
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [ReferenceView_V1.2]'),'2;1');
FILE_NAME('001-00','2021-12-30T10:47:35',(),'','The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07 : 28 Aug 2013','21.0.0.383 - Exporter 21.0.0.383 - Alternate UI 21.0.0.383','');
FILE_SCHEMA(('IFC4'));
ENDSEC;

DATA;
#1= IFCORGANIZATION('$','Autodesk Revit 2021 (ENU)',,$,$,$);
#5= IFCAPPLICATION(#1,'2021','Autodesk Revit 2021 (ENU)', 'Revit');
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#10= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#12= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#14= IFCDIRECTION((-1.,0.,0.));
#16= IFCDIRECTION((0.,1.,0.));
#18= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#20= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#22= IFCDIRECTION((0.,0.,-1.));
#24= IFCDIRECTION((1.,0.,));
#26= IFCDIRECTION((-1.,0.,));
#28= IFCDIRECTION((0.,1.,));
#30= IFCDIRECTION((0.,-1.,));
#32= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);

```

Figura 4.4 – Esempio dello schema di un file IFC in formato SPF

L'intestazione è costituita dalle prime righe del file, e in essa sono contenute le informazioni più generali, ad esempio, la data e l'ora dell'esportazione (*Model creation date*), la versione di IFC utilizzata (*File_Schema*) e la relativa Model View Definition (*File_Description*).

Nella seconda parte, quella del corpo, sono contenute tutte le entità IFC costituenti il modello BIM. Ognuna di esse è descritta con una stringa, corrispondente a una riga del file, preceduta da un numero identificativo che la identifica univocamente; la numerazione è progressiva ed identificata con il simbolo # e viene associata alla classe tramite il simbolo =.

Le entità vengono definite tramite l'aggiunta di informazioni e l'interdipendenza con altre righe del file. Una caratteristica comune a più entità viene individuata da una riga del file e può essere associata più volte alle righe corrispondenti alle varie entità; in questo modo non ci sono ridondanze inutili nel file, e si ottimizzano così le sue dimensioni, pur mantenendo una coerenza.⁸⁷

3.4 Model View Definition (MVD)

Una *Model View Definition* (MVD) è un sottoinsieme dello schema IFC complessivo che descrive lo scambio di dati per un uso o un flusso di lavoro specifico, restringendo l'ambito a seconda delle necessità del destinatario. È quindi essenzialmente una vista filtrata del file IFC che consente di esportare pacchetti specifici di informazioni che soddisfino un uso

⁸⁷ P. Borin, C. Zanchetta, *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2020, pp. 103-107)

La *Model View Definition* è la rappresentazione dello schema informativo tramite cui è possibile estrarre le informazioni proprie di una disciplina dal modello edilizio generale.⁸⁹

Alcune *Model View Definition* disponibili nelle varie versioni di IFC sono:

- *Model Reference View* (IFC4): progettata per generare modelli di riferimento destinati a pianificatori. Contiene solo le definizioni geometriche essenziali e non si presta perciò all'importazione con l'intenzione di apportare modifiche alla geometria;
- *Design Transfer View* (IFC4): è utilizzata per il trasferimento dei modelli IFC per importarli e modificarli in un altro software di BIM authoring. È necessario che venga fatta una regolazione manuale per la gestione delle differenze tra i software;
- *Coordination View Versione 2.0* (IFC2x3): è ottimizzata per lo scambio coordinato di modelli BIM tra le principali discipline del settore edilizio;
- *Coordination View* (IFC2x2): è ormai usata solo se non si supporta la versione IFC2x3.⁹⁰

Il metodo che utilizza buildingSMART per definire i requisiti dello scambio di dati che avviene con le MVD è l'*Information Delivery Manual* (IDM).

IDM è un metodo che serve per la definizione delle regole minime necessarie alla documentazione, in modo univoco, dello scambio informativo necessario a uno scopo che coinvolga almeno due software. Il suo obiettivo è quello di assicurarsi che i dati vengano comunicati in modo da poter essere interpretati dal software ricevente.⁹¹

4 GREEN BUILDING EXTREME MARKUP LANGUAGE (GBXML)

Green Building XML è uno schema aperto che permette di trasferire dati relativi alla geometria dell'edificio e allo svolgimento di analisi ingegneristiche. Grazie ad esso viene in consentita l'interoperabilità tra diversi strumenti software di progettazione e di analisi degli edifici. Lo scopo principale dell'utilizzo di questo schema di dati è quello di progettare edifici energeticamente più efficienti, rimuovendo la barriera dei costi e consentendo ad un team di lavorare utilizzando le potenzialità del BIM.

L'applicazione gbXML è attualmente utilizzata solo nel dominio della simulazione energetica. In termini di geometria, ha la capacità di rappresentare solo forme rettangolari,

⁸⁸ <https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/model-view-definitions-mvd/>

⁸⁹ P. Borin, C. Zanchetta, *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2020, p. 18

⁹⁰ Autodesk, *Manuale dello standard IFC per Revit, istruzioni dettagliate per l'utilizzo dei file IFC*, 2018.

⁹¹ <https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/information-delivery-manual-idm/>

sufficienti alla simulazione energetica.

Lo schema gbXML viene presentato la prima volta nel 2000, da Green Building Studio, e poco dopo diventa la bozza dello schema per il Building Performance & Analysis Working Group. Nel 2009 viene scorporato da Green Building Studio e diventa un'entità autonoma.

La tecnologia che governa gbXML è il linguaggio *Extensible Markup Language* che consente ai programmi software di comunicare informazioni senza interazione umana.⁹²

L'approccio utilizzato da questo schema di dati è quello "*bottom-up*", dal basso verso l'alto, che significa che è flessibile, *open source* e relativamente semplice. È un approccio molto efficace per la simulazione energetica.⁹³

4.1 Schema XML

XML, ovvero *Extensible Markup Language*, è un meta-linguaggio che definisce la struttura di documenti e di dati. Un file in formato XML è essenzialmente un file di testo al cui interno sono contenuti dei tag e degli attributi secondo regole definite.

La struttura logica di un file XML è caratterizzata da una gerarchia: l'elemento principale è la radice, che contiene degli elementi, ovvero i componenti logici, i quali possono a loro volta contenere altri elementi (sotto-elementi); per associare informazioni che descrivono le proprietà degli elementi ci sono gli attributi.

La struttura logica di un file XML è tradotta in struttura fisica composta di elementi sintattici, i tag, che consentono di assegnare un significato specifico a parti del testo. I tag sono caratterizzati da parentesi angolari "<" per l'apertura e ">" per la chiusura; per indicare la fine del tag viene invece utilizzato il segno "/".⁹⁴

Il formato gbXML recupera le informazioni, geometriche e non, dal modello BIM e le salva in un file di testo con questo schema predefinito. gbXML è articolato da più di 500 tipi di elementi ai quali vengono assegnati gli attributi che consentono la descrizione dell'edificio. Gli attributi possono ad esempio specificare se una zona è riscaldata o raffrescata, possono specificare l'unità di misura o definire il tipo di fonte energetica utilizzata. Ogni elemento, inoltre, può avere dei sotto-elementi che articolano le entità e rendono lo schema più complesso.

⁹² https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML

⁹³ B. Dong, K. P. Lam, Y. Huang, G. M. Dobbs, *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, IBPSA International Building Performance Simulation Association, 2007.

⁹⁴ A. Chiarelli, *Struttura dei Documenti XML*, 2006. Consultabile in: <https://www.html.it/pag/16217/struttura-dei-documenti-xml/>

4.2 Differenze gbXML e IFC

Le principali differenze tra gli schemi IFC e gbXML vengono riassunte nella Tabella 4.1.

Tabella 4.1 – differenze tra lo schema gbXML e IFC

Caratteristiche	gbXML	IFC
Rappresentazione della geometria degli edifici	Solo geometrie rettangolare	Qualsiasi geometria
Struttura del dato	XML	IFC, PKZIP, XML
Approccio alla struttura del dato	Bottom-up con rappresentazione relativamente più diretta	Top-down con rappresentazione relativamente più complessa
Dominio di applicazione	Soprattutto simulazione energetica	Diversi domini dalla costruzione alla gestione degli edifici
Capacità di definizione delle zone termiche	Sì	Sì
Posizionamento	Sì	No
Standard per il minimo contenuto per un certo tipo di modelli e usando sottoinsiemi	No	Sì – c'è lo standard MVD per IFC e le capacità IDM
Spessore dei materiali	Sì	Sì
Dati limitati relativi al sistema HVAC	Sì	Sì

Sia il formato IFC che gbXML forniscono dati quali le proprietà dei materiali, i dati del sistema HVAC e i dati sulle zone termiche ma solo gbXML è in grado di fornire i dati relativi alle posizioni.⁹⁵

⁹⁵ E. Kamel, A. Memari, *Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solution*, Automation in Construction, 2019.

IFC adotta un approccio razionale per rappresentare l'intero progetto, e il risultato è una rappresentazione relativamente complessa dello schema di dati, e un file di modesta grandezza, il quale è possibile filtrare grazie alla *Model View Definition* che permette l'estrazione dei dati necessari. gbMXL adotta invece un approccio più flessibile e relativamente semplice, poiché ha come principale obiettivo proprio il *Building Energy Performance Simulation* (BEPS).

gbXML è più adatto, rispetto all'IFC, allo scambio di dati tra BIM e BEPS, poiché è meno complesso ed è stato progettato per la modellazione energetica. Questo standard è utilizzato solo per scopi di questo tipo, mentre IFC viene usato per obiettivi che riguardano tutto il settore delle costruzioni.

5 STANDARD IFC PER L'ANALISI ENERGETICA

L'interoperabilità tra il *Building Information Modeling* (BIM) e il *Building Energy Performance Simulation* (BEPS) rimane ancora un problema irrisolto. Alcune problematiche limitano la piena integrazione e lo scambio di dati tra le due modellazioni; tra queste si considerano per esempio gli errori geometrici e i dati mancanti, i quali richiedono l'intervento umano. L'uso dell'IFC rappresenta un workflow molto utilizzato, questo standard è infatti compatibile con la maggior parte dei software di BIM authoring sviluppati.

Per eseguire di un'analisi termica, è necessario che siano presenti caratteristiche appropriate; il file IFC deve contenere delle informazioni necessarie allo svolgimento di una simulazione energetica, le quali, nel dettaglio, sono:

- proprietà fisiche e termiche dell'involucro edilizio;
- il secondo livello di *space boundary*;
- alcuni dati contestuali.

Il file IFC inoltre deve essere coerente con il modello BIM per quanto riguarda la localizzazione e l'orientamento.

Il workflow su cui si basa il passaggio da BIM a BEPS prevede: l'identificazione della simulazione energetica necessaria, la generazione del file IFC, la verifica e l'eventuale correzione della geometria tramite l'IFC esportato, la mappatura dei dati di carattere energetico per il file IFC e lo svolgimento della simulazione energetica.

La scelta della simulazione energetica va fatta considerando le richieste a cui si vuole dare risposta con questa procedura.

La creazione del file IFC deve essere svolta con precisione in quanto è la fase in cui si produce la più grande percentuale di errori, i quali devono essere risolti prima di importare il file in un software di simulazione energetica; per eseguire questa correzione può essere necessario l'utilizzo di un model checker, ovvero uno strumento che automaticamente verifica

se sono presenti problematiche all'interno della geometria del modello. Esistono degli strumenti che compiono una correzione automatica o semi-automatica degli errori rilevati nella geometria.

Il file IFC deve essere arricchito anche dei dati richiesti per la simulazione energetica, i quali sono:

- dati climatici: la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la radiazione solare diretta e diffusa, la velocità e la direzione del vento;
- dati geometrici: la forma dell'edificio e la geometria della zona;
- dati sull'involucro: materiali e costruzioni, finestre e ombreggiamenti, ponti termici, infiltrazioni e aperture;
- illuminazione, occupazione prevista degli spazi;
- sistema di ventilazione: trasporto e condizionamento dell'aria;
- riscaldamento, raffrescamento e ventilazione nei locali;
- trasformazione, immagazzinamento, distribuzione dell'energia all'edificio;
- apertura delle finestre, dispositivi di ombreggiamento, sistemi di ventilazione, costi energetici, incentivi, risorse, informazioni;
- energie rinnovabili.

Questa fase di implementazione del modello dal punto di vista energetico serve per generare un *BEPS Model* completo e pronto per la simulazione energetica.

Completati tutti i passaggi precedenti si procede alla fase di simulazione energetica, la quale dipende dal software che si vuole usare e dalla metodologia che si sceglie di seguire. Ci sono due approcci a questa fase: interrogare modelli con strumenti di simulazione energetica compatibili oppure importare i file IFC direttamente in un software compatibile.⁹⁶

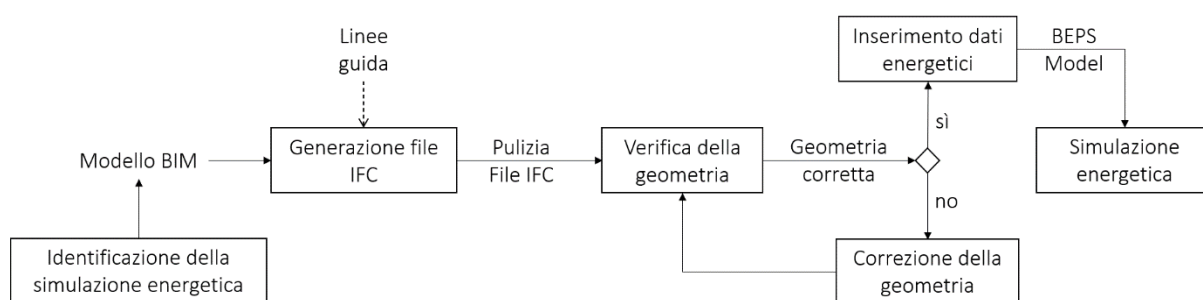


Figura 4.5 – Schema workflow BIM-to-BEPS (M. Elagiry, N. Charbel, P. Bourreau et al., *IFC to Building Performance Simulation: a Systematic Review of the Main Adopted Tools and Approaches*, BauSIM, 2020).

Le problematiche che si presentano nell'utilizzo del BIM come base per l'analisi energetica sono principalmente due, ovvero la differenza nella rappresentazione delle

⁹⁶ M. Elagiry, N. Charbel, P. Bourreau et al., *IFC to Building Performance Simulation: a Systematic Review of the Main Adopted Tools and Approaches*, BauSIM, 2020.

informazioni tra l'analisi energetica e il BIM, in quanto la geometria del modello geometrico deve essere trasformata in una equivalente nel software di analisi, e la mancanza di interoperabilità tra i software di BIM authoring e gli strumenti di analisi, che si traduce nella perdita di dati al momento dell'importazione del modello informativo nel software che compie l'analisi energetica.⁹⁷

Gli ostacoli che si incontrano nella procedura dipendono dal workflow che si sceglie di seguire. I tre workflows più utilizzati per compiere un'analisi ingegneristica partendo da uno strumento di BIM authoring sono:

- esportazione del modello analitico direttamente dal software di BIM authoring;
- importazione di un modello informativo in un software di analisi dove il modello geometrico viene trasformato in un modello analitico;
- trasformazione del modello geometrico al di fuori di qualsiasi strumento di modellazione o analisi; in questo caso è richiesta la conversione del file esportato dal software di modellazione in un altro compatibile con il software per lo svolgimento dell'analisi.

In ognuno di questi casi l'iter ha inizio con la creazione di un modello BIM, dal quale viene esportato un file IFC con la *model view definition GSA Concept Design*. Questa MVD è stata implementata dai *General Services Administration* degli Stati Uniti per lo scambio di dati dai modelli architettonici ai modelli di analisi energetica. I contenuti di questo standard includono infatti: la geometria spaziale, *space boundary* per porte, finestre, muri e solai, la stratigrafia dei materiali di cui sono costituiti muri e solai e le proprietà termiche di muri e finestre.⁹⁸

5.1 Space Boundaries

Un modello per la simulazione energetica, come per altre analisi ingegneristiche, non richiede una geometria dettagliata, la quale invece deve quasi sempre essere semplificata se si usa come punto di partenza un modello architettonico. Il modello architettonico, infatti, spesso contiene molti dettagli che risulterebbero inutili per lo svolgimento di un'analisi.

Tutti i software per la simulazione delle performance di un edificio, utilizzati nel settore delle costruzioni, considerano la stessa ipotesi di partenza, ovvero che la trasmissione e il flusso di energia, attraverso elementi dell'edificio, è esclusivamente perpendicolare alla superficie attraverso il quale penetrano. Le trasmissioni bidimensionali o tridimensionali vengono sempre ignorate. La geometria dell'edificio viene pertanto ridefinita per facilitare la simulazione

⁹⁷ V. Bazjanac, A. Kiviniemi, *Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data*, Proceedings of the 24th Conference on Bringing ITC Knowledge to Work, 2007.

⁹⁸ I. Ramaji, J. Messner, E. Mostavi, *IFC Based BIM-to-BEM Model Transformation*, Journal of Computing in Civil Engineering, 2020.

energetica di un edificio se realizzata con questi software.

Molti strumenti di simulazione o analisi definiscono la geometria dell'edificio come un sistema di superfici chiamate "*space boundaries*", le quali delineano delle zone spaziali, che possono essere ad esempio le zone termiche, e che rappresentano un punto cruciale per la definizione della geometria di un modello da usare come input per un'analisi. Esse sono poligoni che possiedono l'informazione della direzione del flusso o della trasmissione di energia, verso l'interno o verso l'esterno. Queste superfici delimitano elementi come muri, finestre, porte pavimenti, coperture e colonne; sono sempre doppie, perché una serve a definire la parte interna dell'elemento, e la seconda a definirne la parte esterna. Gli elementi che definiscono l'involucro esterno, però, solitamente possiedono una sola superficie di questo tipo, la quale corrisponde alla superficie interna, perché lo spazio esterno non viene considerato in quanto non rappresenta una zona necessaria all'analisi, ad esempio una zona termica.⁹⁹

Le *space boundaries* includono due categorie di informazione che servono per lo svolgimento di un'analisi termica, ovvero l'area della superficie e le proprietà dei materiali. L'area superficiale, chiamata anche involucro dell'edificio, determina le zone termiche e l'inerzia termica corrispondente. Maggiore è l'area superficiale dell'edificio, più scambio di calore avverrà in esso. Anche le proprietà dei materiali, ad esempio la conduttività termica, determinano la performance energetica dell'edificio. A causa della mancanza di informazioni sulla superficie e sulle proprietà dei materiali fornite dal modello architettonico, è necessaria una correzione manuale di esso, inevitabile per lo svolgimento di una simulazione energetica.¹⁰⁰

Esistono cinque livelli di *space boundaries*:

- Primo livello di *space boundaries*: sono le superfici degli elementi che circondano uno spazio e ne definiscono il confine, oppure possono essere superfici virtuali che dividono lo spazio da quello adiacente. Vengono utilizzate nei computi delle quantità e nel *facility management* poiché descrivono le superfici per le finiture. Non possono essere utilizzati direttamente per l'analisi termica, ma possono fornire l'input per i software che trasformano queste *space boundaries* in quelle di secondo livello;¹⁰¹

⁹⁹ V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010.

¹⁰⁰ Q. Chen, Y. Harmanci, Y. Ou et al., *Robust IFC files to improve information exchange: an application for thermal energy simulation*, ISEC 2017 – 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction, 2017.

¹⁰¹ https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcrelspaceboundary1stlevel.htm

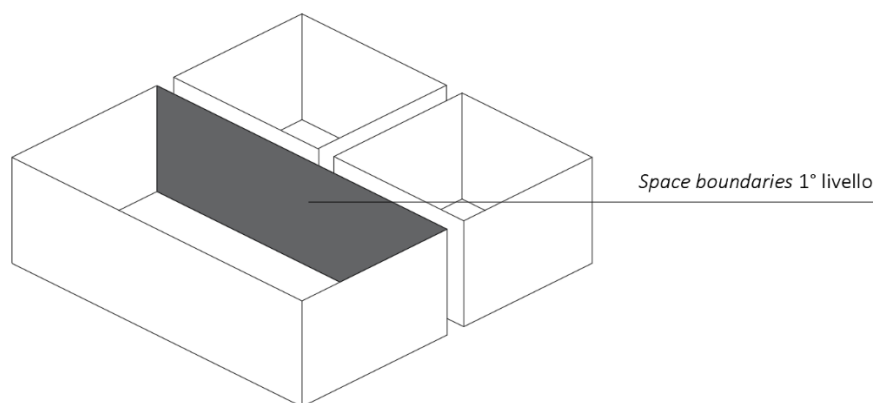


Figura 4.6 – Primo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)

- Secondo livello di *space boundaries*: rappresentano entrambi i lati delle superfici di trasferimento del calore, separate dallo spessore dell'elemento edilizio; possono essere ulteriormente divise in: tipo 2A, quando dall'altra parte della superficie c'è uno spazio come un locale; tipo 2B: quando dall'altra parte della superficie c'è un'entità architettonica. La connessione geometrica di questo tipo di superfici è limitata alle superfici planari, perciò, se una superficie originalmente è curva, essa deve essere segmentata. Questo tipo di *space boundaries* è utilizzato per molte tipologie di analisi che richiedono una geometria superficiale, come ad esempio l'analisi energetica, quella illuminotecnica e quella fluido-dinamica.¹⁰²

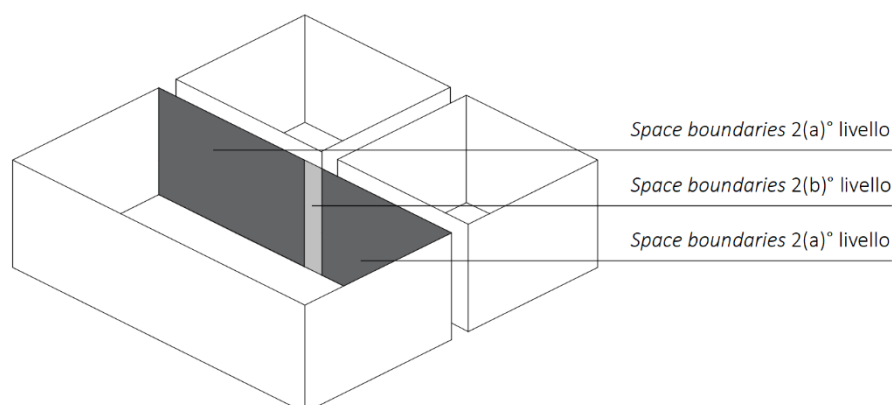


Figura 4.7 – Secondo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th

¹⁰² https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC2/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcrelspaceboundary2ndlevel.htm

- Terzo livello di *space boundary*: le proiezioni ortogonali delle superfici superiore e inferiore delle pareti, che non vengono considerate come *space boundaries* di secondo livello, costituiscono gli *space boundaries* di terzo livello. La loro definizione è necessaria nel caso in cui la simulazione richiede la chiusura completa dei volumi delle zone, altrimenti può essere ignorata;

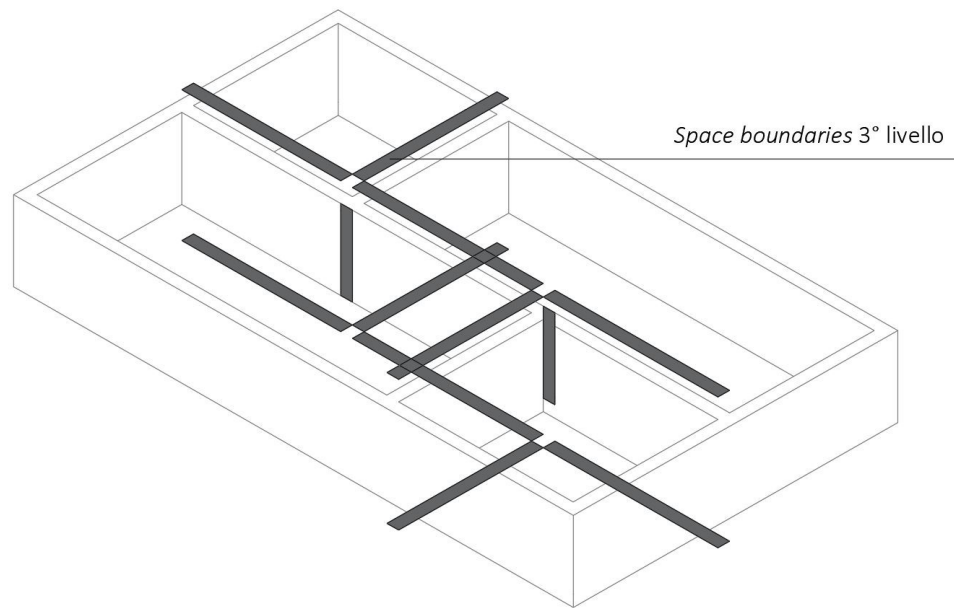


Figura 4.8 – Terzo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)

- Quarto livello di *space boundary*: durante un'intersezione tra due muri capita che non venga computata l'area in cui i due elementi si fondono, la cui dimensione e forma varia a seconda della linea di riferimento del muro utilizzata per la sua rappresentazione; quell'area non delimitata dalla linea di riferimento da un lato e dalle *space boundaries* dagli altri tre lati, costituisce la *space boundary* di quarto livello;

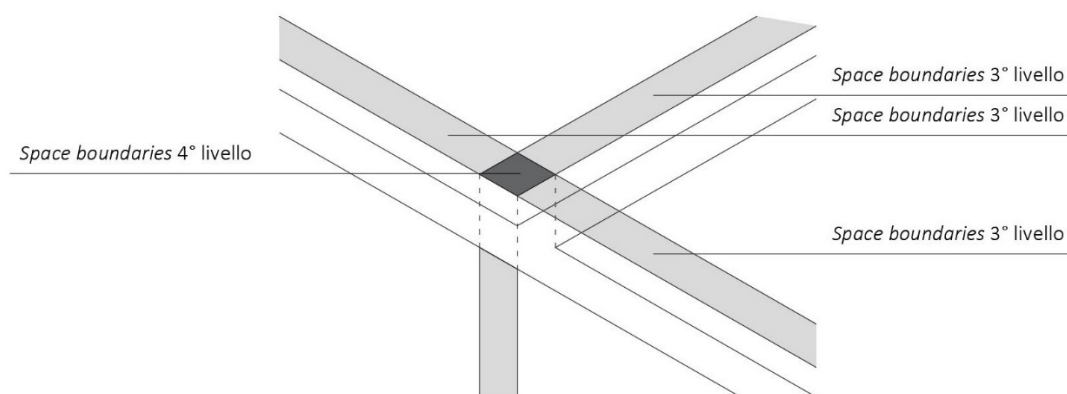


Figura 4.9 – Quarto livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)

- Quinto livello di *space boundary*: quando due muri non perpendicolari tra loro si intersecano, una porzione di muro rimane scomputata, in quanto non può esserci trasmissione di energia, in quel punto, verso la zona adiacente. Quest'area scomputata costituisce lo *space boundary* di quinto livello.

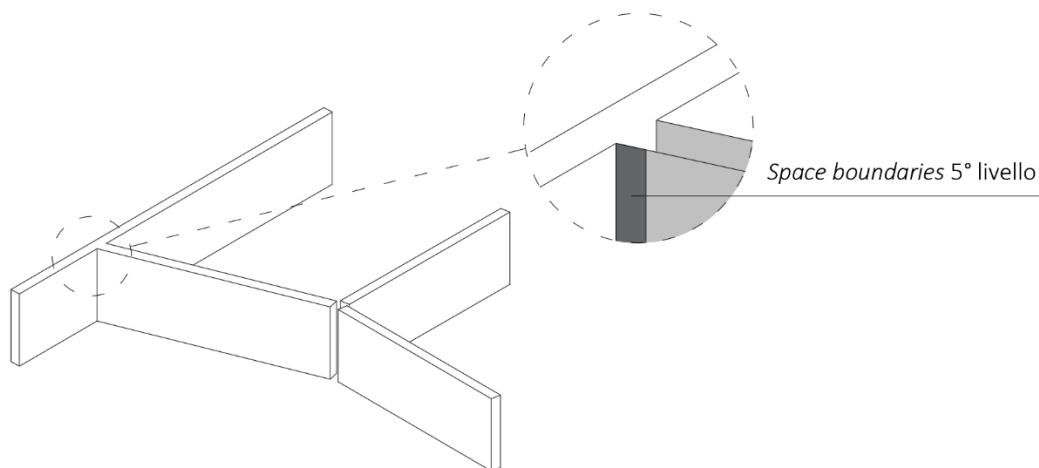


Figura 4.10 – Quinto livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)

IFC è l'unico standard che riconosce e classifica tutti i livelli di *space boundaries* come specifiche entità. gbXML riconosce la classe 2A di *space boundary* come definita in IFC. Nello schema gbXML le *space boundaries* sono collegate al tipo di costruzione tramite gli attributi delle superfici degli elementi e permettono il calcolo del flusso di energia. Dato che questo schema di dati viene usato principalmente per applicazioni di simulazioni o analisi energetiche, non includerà il primo livello di *space boundary*.¹⁰³

¹⁰³ V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010.

Capitolo Quinto

SPERIMENTAZIONE

La tesi, in questo capitolo, si propone di andare a indagare il grado di interoperabilità che intercorre tra Revit e i software di Edilclima. L'interazione tra modellazione architettonica, con software di BIM authoring, e i software di analisi energetica permetterebbe infatti di snellire il flusso di lavoro e ridurre tempi e costi. Per il raggiungimento di questo obiettivo si utilizzerà il formato di dati aperto Industry Foundation Classes (IFC), in quanto è l'unico formato aperto importabile nei programmi realizzati dalla software-house Edilclima.

La realizzazione di questo capitolo è avvenuta in collaborazione con l'azienda Seingim Global Service s.r.l., la quale si è occupata di fornire il caso studio su cui poter svolgere le sperimentazioni. L'edificio studiato è soggetto a diagnosi energetica volta all'attuazione di interventi di miglioramento energetico: sono previsti il rifacimento dei prospetti con inserimento di cappotto termico e rifacimento del controsoffitto verso il sottotetto non riscaldato con inserimento di uno strato isolante, o, in alternativa, il rifacimento della copertura con inserimento dell'isolante in corrispondenza di essa e non del sottotetto.

La sperimentazione si propone anche di condurre una diagnosi energetica dell'edificio, studiando varie ipotesi di combinazione di interventi di miglioramento energetico, al fine di garantire sempre il salto di due classi energetiche, affinché si rispettino i requisiti per lo svolgimento del superbonus.

1 CASO STUDIO

L'edificio su cui sono state svolte le sperimentazioni illustrate in questo capitolo è un condominio ad uso esclusivamente residenziale situato a Genova, in via Maria Santissima Ausiliatrice 6/6A. La sua costruzione risale agli anni '30 del '900, più precisamente si suppone sia stato costruito nel 1939. Non sono state fatte indagini distruttive su di esso, pertanto non si conoscono con certezza i materiali di cui è composto; si dispone delle planimetrie catastali di quasi ogni unità abitativa ed è stato svolto un rilievo sommario di alcuni appartamenti e dell'impianto di riscaldamento.

Dal punto di vista energetico si è conoscenza che l'edificio non possiede nessun tipo di coibentazione e che il piano seminterrato e il sottotetto non sono climatizzati; inoltre, sono presenti due atri di ingresso e due vani scala, anch'essi non riscaldati. L'impianto termico di riscaldamento è autonomo per ciascuna unità immobiliare, e lo stesso impianto produce anche acqua calda sanitaria.



Figura 5.1 – Vista di Google Earth del caso studio

1.1 Descrizione architettonica

Sebbene sia un'unica costruzione, sono in realtà due civici distinti, 6 e 6A, disposti simmetricamente e non comunicanti tra loro. Si compone di cinque piani fuori terra, escluso il sottotetto non abitabile, e di un piano seminterrato. In ogni piano sono presenti in totale sei unità abitative, per un totale di trenta appartamenti. Gli appartamenti del civico 6 e del civico 6A sono simmetricamente uguali, fatta eccezione per alcuni casi in cui sono stati svolti degli interventi di ristrutturazione successivi alla costruzione.

La facciata principale, la quale presenta i due ingressi, è orientata a nord-est; l'edificio ha una caratteristica forma a C all'interno del quale è presente un piccolo cortile (Figura 5.2).

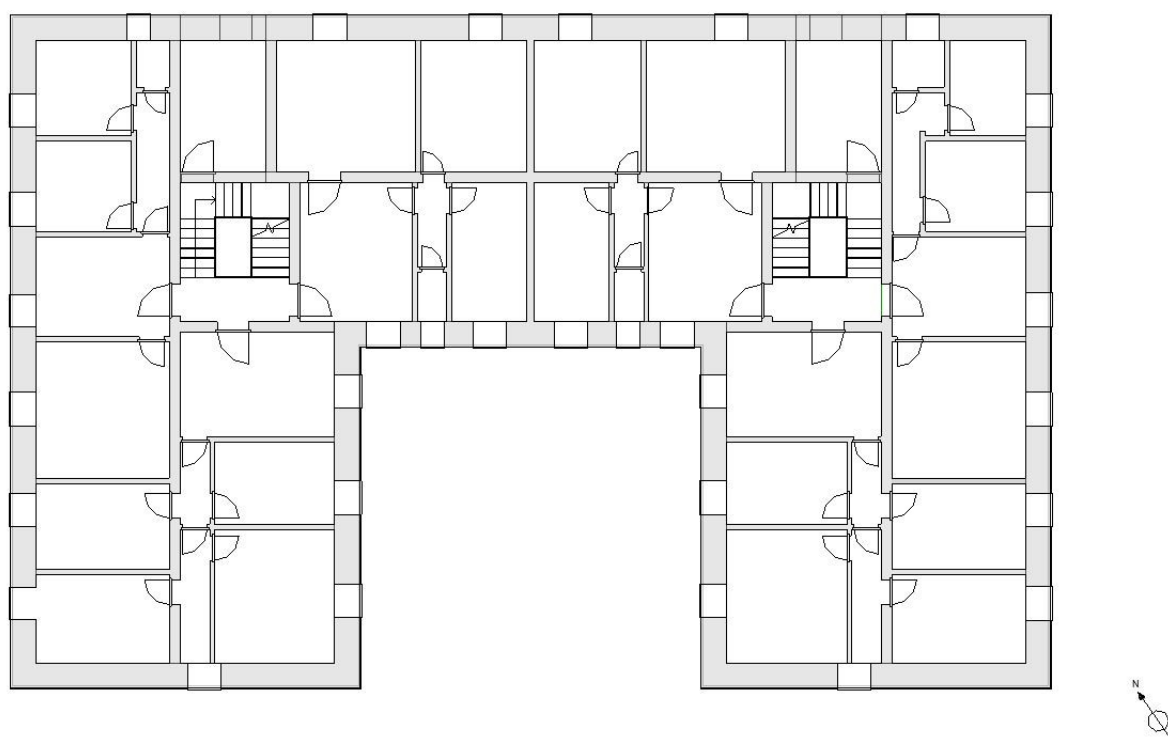


Figura 5.2 – Planimetria PT

Una peculiarità dell'edificio in questione sono le cornici decorative che caratterizzano soprattutto la facciata principale e i due prospetti laterali (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Dettaglio cornici decorative (prospetto nord-est e sud-est)

1.2 Descrizione materica

Non essendo state fatte indagini per caratterizzare l'edificio dal punto di vista materico, i materiali di cui è costituito si sono ipotizzati aiutandosi con la consultazione dell'abaco delle

tipologie costruttive nazionali, che propone delle ipotesi di stratigrafie degli elementi a seconda dell'anno di costruzione dell'edificio. È stato fornito un rilievo delle finestre di alcuni appartamenti nel quale erano indicati anche i materiali con cui sono state realizzate.

Si è potuto pertanto risalire ai materiali di costruzione, sebbene ipotizzati, i quali sono stati impostati anche nel software di disegno (Tabella 5.1):

Tabella 5.1 – Abaco delle stratigrafie degli elementi costruttivi

ELEMENTO	STRATIGRAFIA (dall'esterno verso l'interno)
Muri esterni sp. 71 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 67 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri esterni sp. 65 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 61 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri esterni sp. 60 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 56 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri esterni sp. 55 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 51 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri esterni sp. 50 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 46 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri esterni sp. 45 cm	- malta di calce 2 cm - roccia sedimentaria 41 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri interni sp. 30 cm	- malta di gesso con inerti 2 cm - materiale di default – muro 26 cm

	- malta di gesso con inerti 2 cm
Muri interni sp. 15 cm	- malta di gesso con inerti 2 cm - roccia sedimentaria 11 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Muri interi sp. 10 cm	- malta di gesso con inerti 2 cm - roccia sedimentaria 6 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Solaio interpiano in laterocemento sp. 27 cm	- ceramica bianca 2 cm - sabbia e calcestruzzo 6,5 cm - calcestruzzo 4 cm - laterizio 13 cm - malta di gesso con inerti 1,5 cm
Solaio in c.a. sp. 27 cm	- pavimentazione 3 cm - calcestruzzo 22 cm - malta di gesso con inerti 2 cm
Copertura	- ardesia 5 cm - bitume, asfalto 1 cm - calcestruzzo, gettato in opera 2 cm - legno dolce, legname 2 cm *
Lucernari	Vetro 4 cm **
Finestre	Scuri in alluminio, telaio in alluminio e doppio vetro (4 mm)
Porte interne	Legno 4 cm
Porte d'ingresso	Telaio in alluminio e vetro singolo (4 mm)

* Gli elementi portanti del tetto sono delle capriate sulle quali sono posizionati dei travetti in legno, il tutto è stato trasformato su Revit in uno strato ligneo di 2 cm. Essendo lo strato che separa una zona non climatizzata dall'esterno dell'edificio non è comunque influente ai fini del calcolo

** si trascura il telaio metallico, ovvero il sistema portante dei lucernari, in quanto la struttura è ininfluente ai fini del calcolo

2 CREAZIONE DEL MODELLO

2.1 Restituzione del modello architettonico

Per la restituzione del modello architettonico è stato usato il software Revit. È stato creato un file centrale, in fase di salvataggio, che potesse fungere da *database* del progetto e potesse quindi memorizzare tutte le modifiche apportare e tutte le informazioni di proprietà dei *workset* e degli elementi. Un *workset* è una raccolta di elementi in un progetto condiviso, i quali si possono raggruppare al suo interno secondo una logica scelta dall'utente.

Successivamente sono stati impostati il nord di progetto e il nord reale, per lavorare con comodità, posizionando la facciata principale verso l'alto, ed è stata assegnata la località corretta, tramite il comando *gestisci* → *posizione progetto* → *località*.

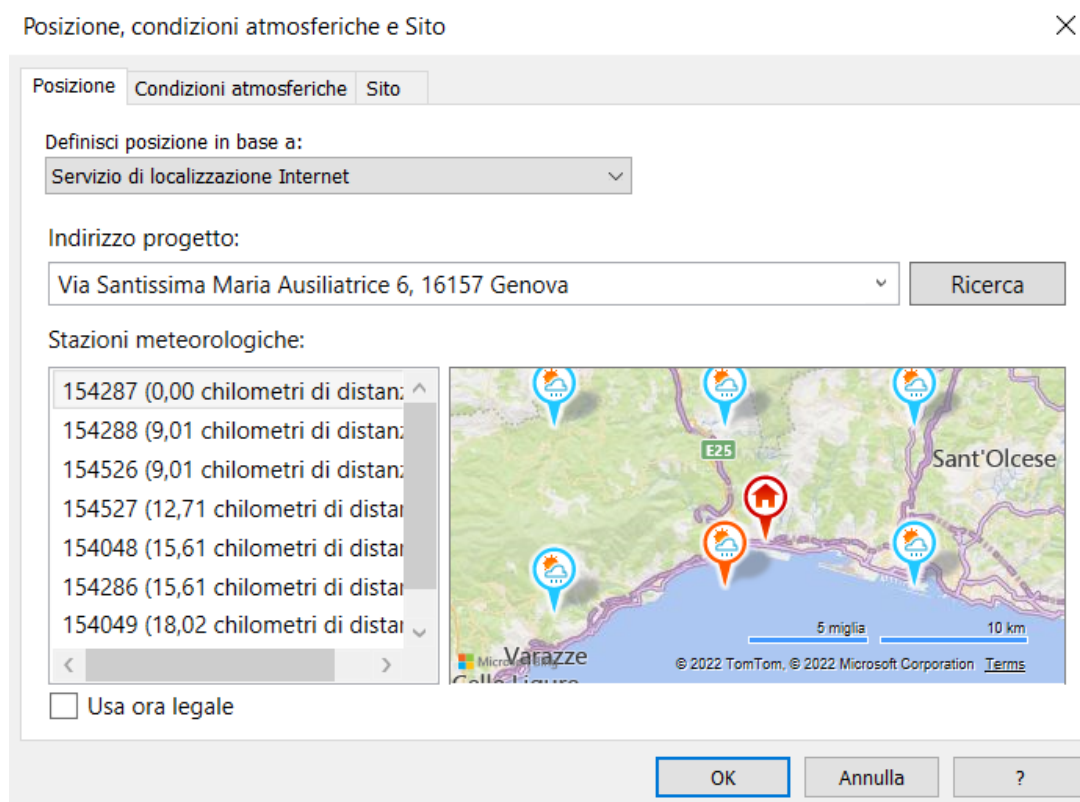


Figura 5.4 – Inserimento posizione del progetto in Revit

Disponendo di una planimetria-tipo realizzata in AutoCAD, facente parte del materiale fornito insieme alle planimetrie catastali, essa è stata posizionata centrata all'origine degli assi e sono state poi importate tutte le planimetrie catastali in PDF dei singoli appartamenti, scalandole e posizionandole adeguatamente (Figura 5.5).

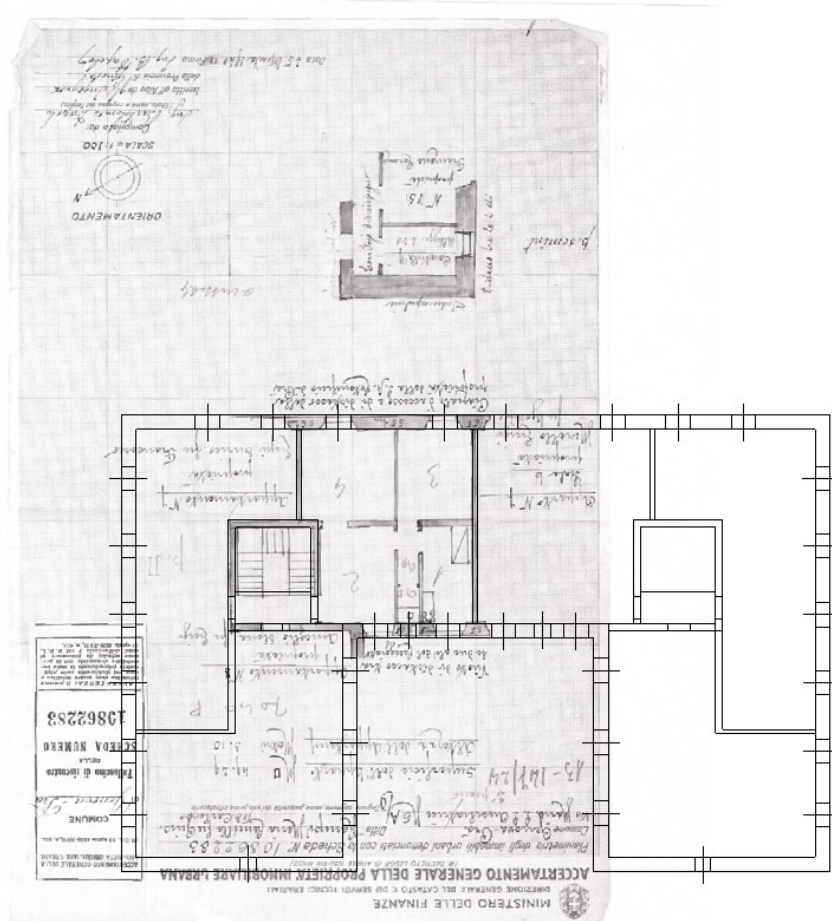


Figura 5.5 – Posizionamento planimetrie catastali e planimetria-tipo DWG

A questo punto si sono creati i tipi di muro di base degli spessori corrispondenti a quelli presenti nelle planimetrie. Siccome i muri si assottigliano dal basso verso l'alto, e si è scelto di far coincidere il filo esterno dei muri nei vari piani, per ottenere un risultato architettonico verosimile. Ad essi è stata poi assegnata la corretta stratigrafia ipotizzata. Il medesimo procedimento è stato fatto con i solai e le coperture.

Sono state realizzate le famiglie di finestre presenti nel progetto: una famiglia di finestre a doppia anta, una famiglia di finestre a un'anta e una famiglia di finestre con una doppia anta esterna per gli scuri e una sola anta interna per il vetro. Quest'ultima tipologia di finestra descritta è presente nei prospetti dell'edificio in cui, per mantenere l'uniformità degli infissi, sono state mantenute le due ante esterne, quindi il doppio scuro, ma una sola interna in corrispondenza dei vetri. Un'altra famiglia di finestre è stata realizzata per gli infissi del piano seminterrato. Le finestre hanno dimensioni diverse nei vari piani e nei vari prospetti dell'edificio. Si è deciso di mantenere, nel modello, le dimensioni reali degli infissi come restituiti nel rilievo (Tabella 5.2).

Tabella 5.2 – Dimensioni finestre progetto

Prospetto	Piano	Dimensioni
Nord	PT	167 x 95 cm
Nord	P1	163 x 95 cm
Nord	P2	163 x 95 cm
Nord	P3	167 x 90 cm
Nord	P4	170 x 100 cm
Est e Ovest	PT	167 x 95 cm
Est e Ovest	P1	160 x 90 cm
Est e Ovest	P2	160 x 90 cm
Est e Ovest	P3	160 x 90 cm
Est e Ovest	P4	170 x 100 cm
Sud e cavedio	PT	167 x 95 cm
Sud e cavedio	P1	163 x 95 cm
Sud e cavedio	P2	163 x 95 cm
Sud e cavedio	P3	167 x 90 cm
Sud e cavedio	P4	170 x 100 cm

Il modello architettonico è stato ultimato inserendo le porte, i due abbaini sulla copertura, il terrazzo nel prospetto nord-ovest, la topografia e gli edifici del contesto (Figura 5.6).

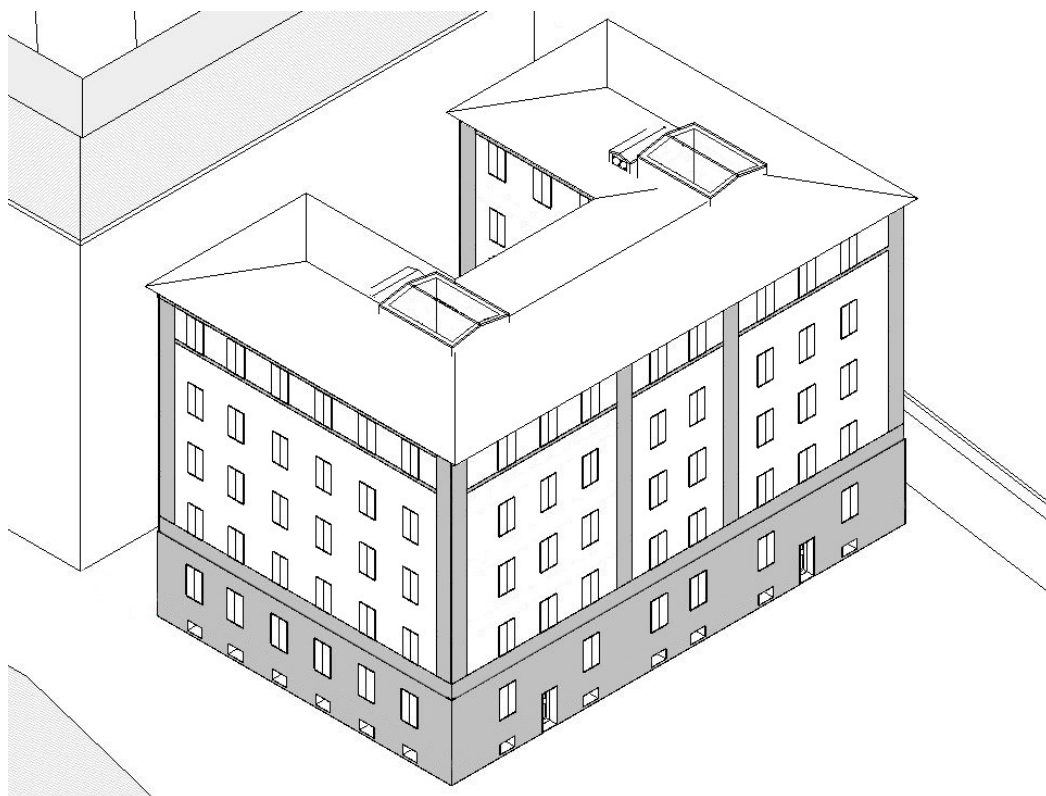


Figura 5.6 - Modello architettonico

2.2 Creazione del modello energetico (BEM)

2.2.1 Semplificazione del modello

Per lo svolgimento di un'analisi energetica non è necessario che il modello contenga molti particolari, anzi, questi possono creare delle limitazioni all'uso del modello ai fini di un'analisi. A questo proposito si è deciso di fare delle opportune semplificazioni:

- sono state eliminate le cornici decorative (in grigio nella Figura 5.6);
- è stata inserita una sola famiglia di finestre, posizionate con dimensioni diverse a seconda del prospetto e del piano di appartenenza (Tabella 5.2);
- sono state eliminate le finestre appartenenti al piano seminterrato, esse infatti non influenzano in nessun modo l'analisi energetica in quanto il piano seminterrato non è climatizzato, e quindi non viene disperso calore attraverso le finestre;
- sono state eliminate le porte interne alle unità abitative in quanto non influenti all'analisi energetica poiché dividono vani climatizzati alla stessa temperatura;
- un'ulteriore semplificazione eseguita nel modello è stata l'eliminazione dei piani sfalsati al livello degli atri di ingresso. In quella zona, al livello del terreno, sono presenti i due atri di ingresso; il piano terra è rialzato di 1,24 m e il piano seminterrato è ribassato di 1,23 m. I solai dei due atri sono stati portati al livello

del piano terra in quanto questo comportava la gestione di un piano in meno dell'edificio;

- sono stati eliminati gli edifici circostanti disegnati;
- per semplificare la forma della copertura sono stati eliminati i due abbaini, superflui ai fini dell'analisi energetica;
- è stato eliminato il terrazzo realizzato nel prospetto ovest dell'edificio.

Sono stati mantenuti i piani seminterrato e sottotetto anche se entrambi non climatizzati. Nonostante sia stata ipotizzata la stessa temperatura all'interno di tutti i vani climatizzati, è stato necessario comunque mantenere le tramezze interne e i solai interpiano, attraverso i quali non si ha dispersione termica, per la creazione successiva dei ponti termici.

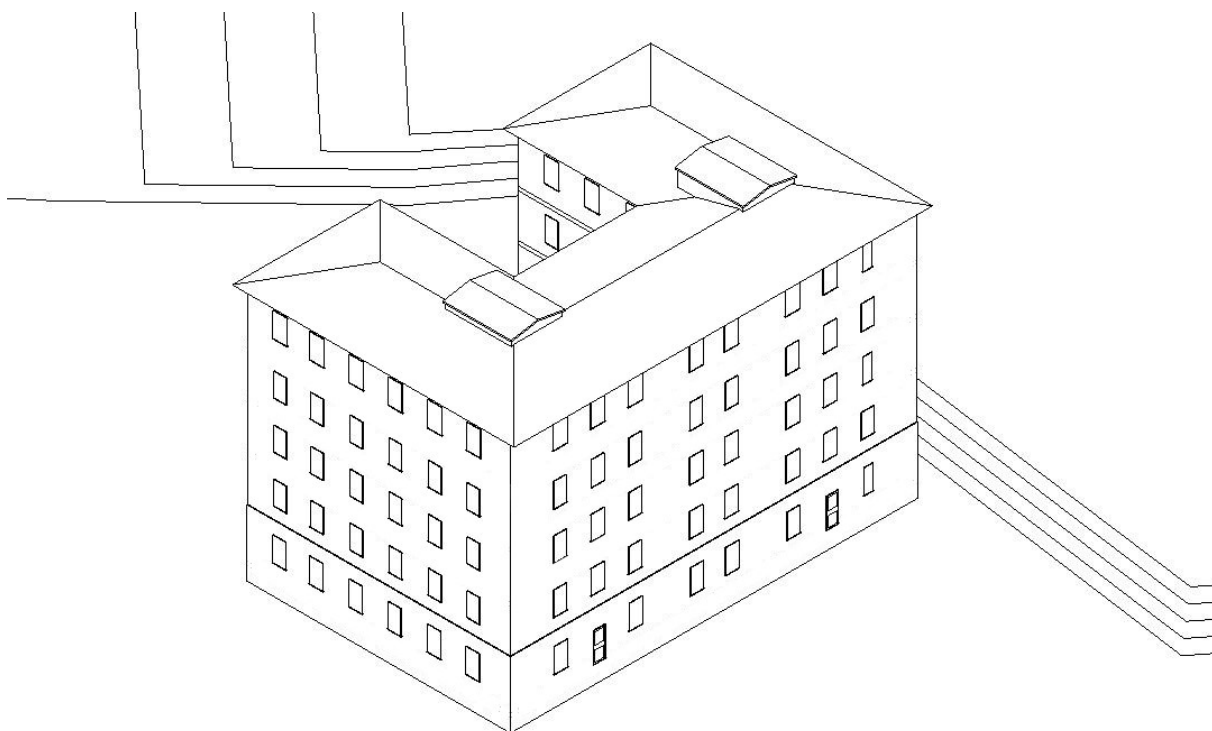


Figura 5.7 – Modello BEM

2.2.2 Inserimento dati energetici

Per poter importare il modello in Edilclima è stato necessario inserire alcune informazioni che venissero poi riconosciute dal programma di analisi. In particolare, affinché il modello venisse importato, è stato strettamente necessario l'inserimento di vani, o di locali, nel software di authoring.

Sono stati quindi creati i vani all'interno del modello. Essi sono stati nominati secondo il numero civico (6, 6A), il piano dell'edificio (-10, 00, 10, 20, 30, 40), il numero dell'appartamento (1, 2, 3), e un numero progressivo necessario a individuare le singole stanze.

Ad esempio, il vano 6A_305_02 corrisponde alla stanza numero 05 (6A_302_05) dell'appartamento 2 (6A_302_05), al piano terzo (6A_302_05), del civico 6A (6A_302_05). A questa numerazione fanno eccezione i vani scala e gli atri di ingresso: i vani scala sono stati numerati solo secondo il numero civico e il numero del piano (es. 6A_300 e 6_300 per i vani scala al terzo piano) e allo stesso modo sono stati numerati gli atri di ingresso, ai quali, per distinguerli dai vani scala, è stato aggiunto un *underscore* finale (es. 6_000_).

A ognuno di essi è stato attribuito il tipo di climatizzazione, proprietà presente nelle *property set* dei vani, scegliendo quindi tra “riscaldamento e raffreddamento” o “senza climatizzazione”.¹⁰⁴

A loro volta i vani termici sono stati raggruppati in zone, le quali si è deciso di farle corrispondere alle unità abitativa, ovvero ai singoli appartamenti. Esse riportano la stessa logica nella numerazione dei vani: vengono distinte secondo il numero civico di appartenenza (6, 6A), il numero del piano (00, 10, 20, 30, 40) e il numero dell'appartamento (1, 2, 3). Per definizione le zone sono esclusivamente climatizzate ma, per praticità, i vani non climatizzati sono stati tutti raggruppati all'interno di una zona denominata “Non climatizzata”.¹⁰⁵

Per caratterizzare al meglio il modello dal punto di vista energetico sono stati attribuiti i materiali corretti alle stratigrafie degli elementi architettonici, e ne sono stati creati di nuovi all'occorrenza.

2.2.2.1 Creazione nuovo materiale

Per inserire un nuovo materiale, ad esempio l'ardesia della copertura, è stato creato, nel “Browser dei materiali”, in Revit, un nuovo materiale di default il quale si è andato a caratterizzare inserendo il nome nella scheda identità (Figura 5.8), la grafica, l'aspetto, e le caratteristiche fisiche e termiche.

¹⁰⁴ APPENDICE 1

¹⁰⁵ *Ibidem*

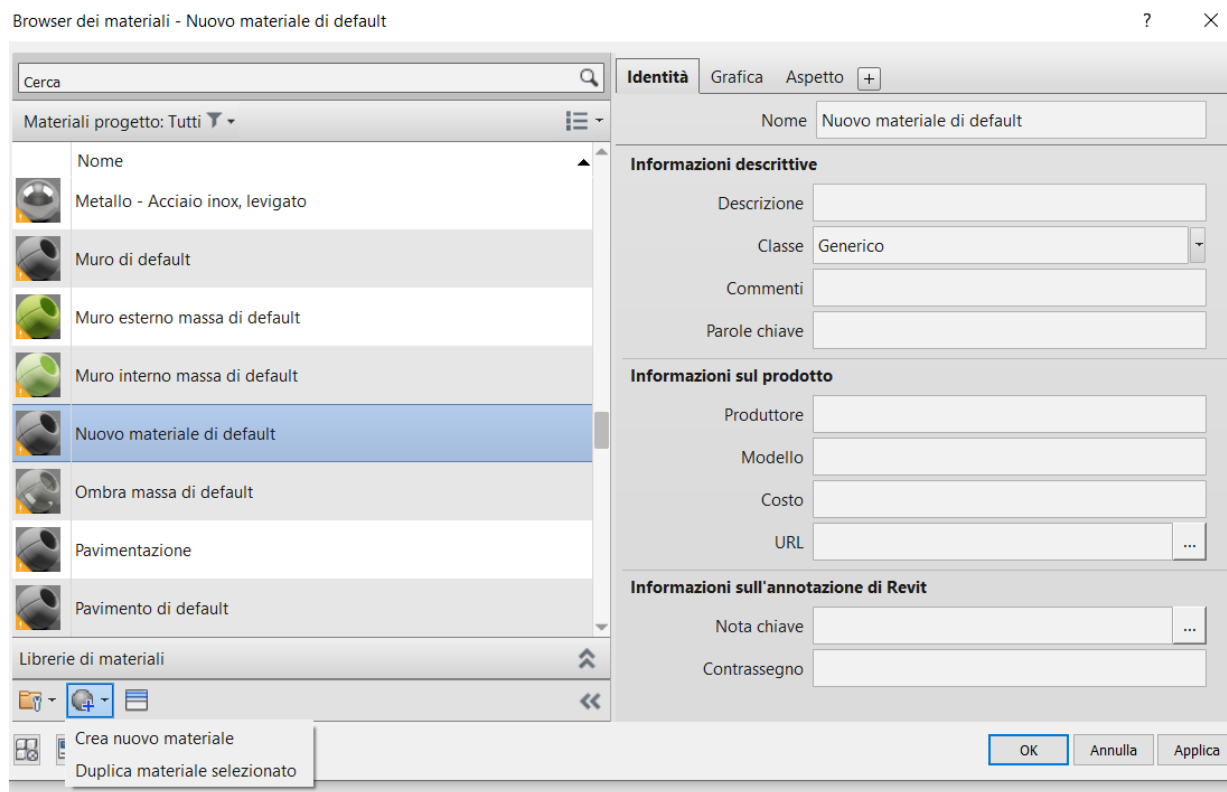


Figura 5.8 – Browser dei materiali

Per la caratterizzazione delle proprietà fisiche e termiche del materiale si è usato il “Browser dei componenti di progetto”, dal quale si sono selezionate le caratteristiche dei materiali presenti nella cartella “Componenti di progetto fisici Autodesk” (Figura 5.9).

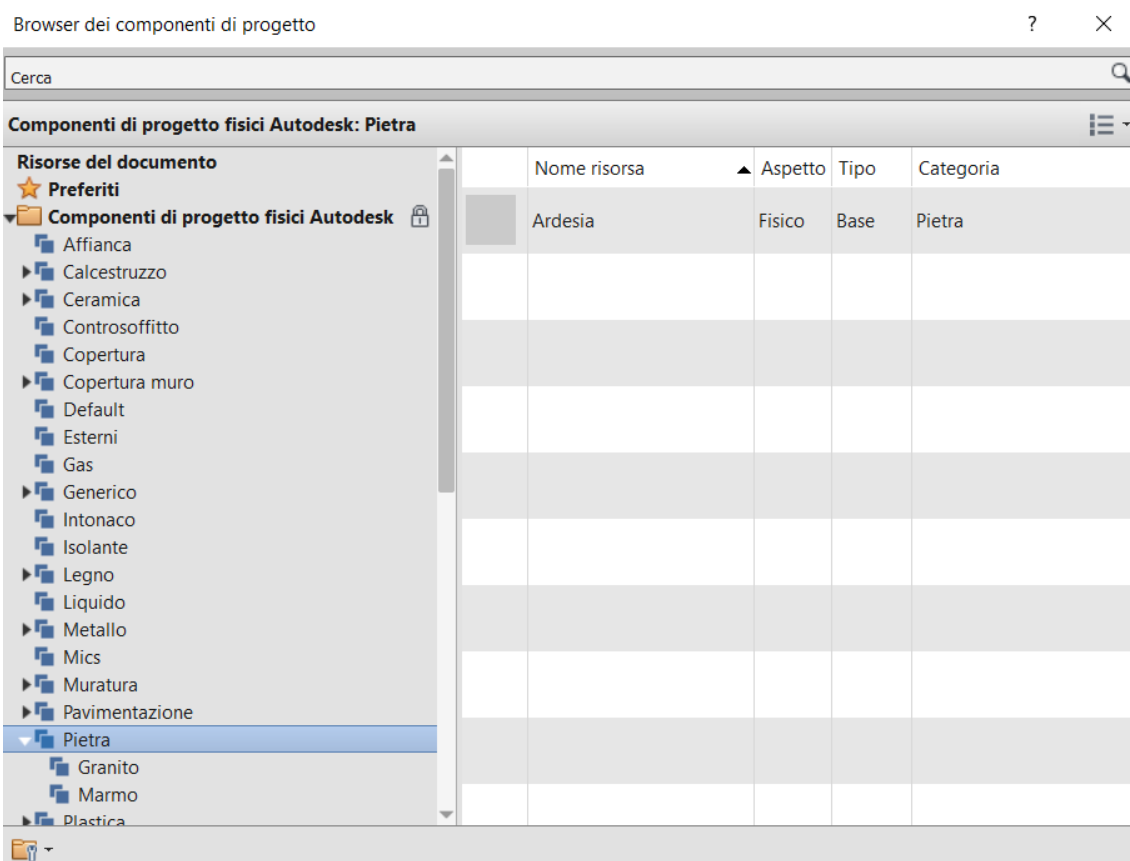


Figura 5.9 – Browser dei componenti di progetto

2.3 Creazione impianto di riscaldamento e ACS

Le informazioni che si hanno sull'impianto di riscaldamento dell'edificio sono poche e derivano da un sopralluogo approssimativo. L'impianto di riscaldamento presente è autonomo, con schema ad anello monotubo e con distribuzione orizzontale. È presente, pertanto, una caldaia per ogni appartamento e questo impianto produce anche acqua calda sanitaria (ACS). I radiatori sono in alluminio e sono posizionati sulla parete esterna.

Per completare il modello energetico si è voluto realizzare l'impianto in Revit, utilizzando il template del modello meccanico.

È stato possibile modellare gli impianti collegando al modello meccanico il file RVT del modello architettonico. Successivamente è risultato necessario attivare il comando *Collabora* → *Coordina* → *Copia/controlla* per poter rendere modificabili gli elementi del file collegato; così facendo i radiatori, appartenenti al progetto meccanico, potevano essere posizionati sui muri appartenenti al progetto architettonico. Gli elementi meccanici inseriti nel modello sono: caldaia, radiatori, tubazioni e raccordi. Si è quindi conclusa la realizzazione degli impianti di riscaldamento e ACS ipotizzati (Figura 5.10).

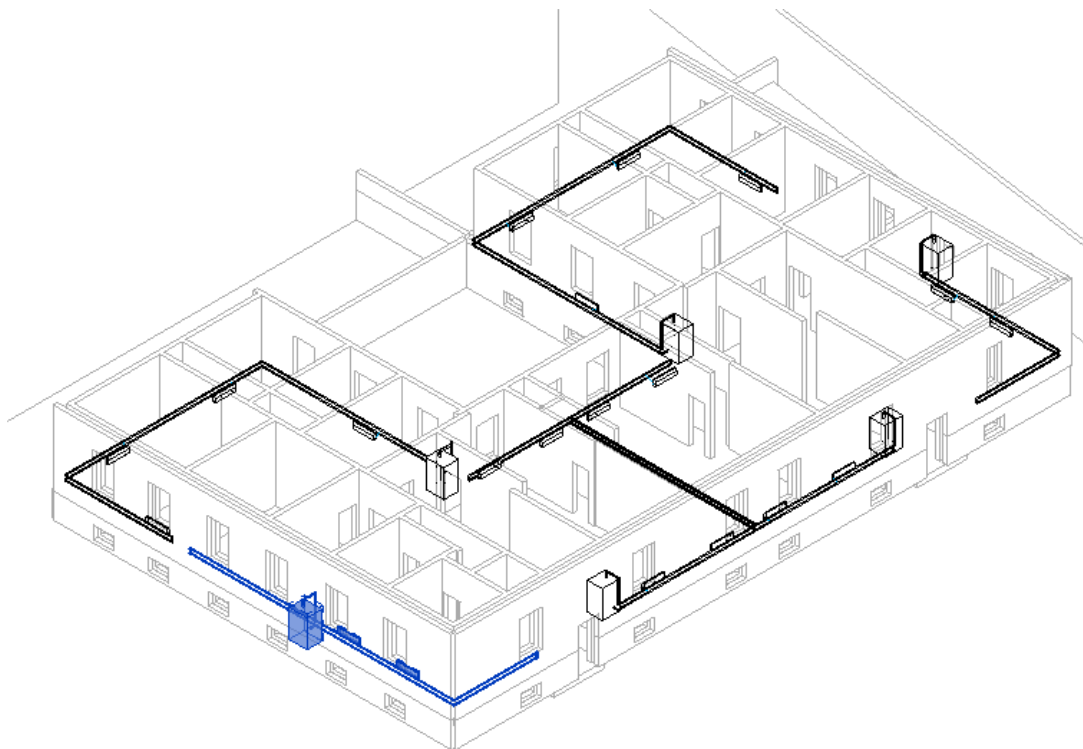


Figura 5.10 – impianti di riscaldamento e ACS

2.4 Mappatura parametri IFC

Terminato il modello BEM dell'edificio oggetto di studio, si è proceduto con la mappatura dei parametri IFC, *IfcExportAs* e *IfcExportType*, per ogni elemento presente nel progetto. Questi due parametri sono necessari per la definizione dell'attributo *PredefinedType* e quindi per l'assegnazione dell'enumerativo corretto, l'ultimo attributo diretto che compare nella stringa corrispondente a un'istanza nel file IFC (Figura 5.11).

```
#50700= IFCSHAPEPRESENTATION(#119,'Body','SweptSolid',(#50690));
#50702= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#50700,#50721));
#50705= IFCARTESIANPOINT((29.2274313712653,18.8816274908385));
#50707= IFCARTESIANPOINT((29.2274313712653,0.));
#50709= IFCARTESIANPOINT((19.4899228011083,0.));
#50711= IFCARTESIANPOINT((19.4899228011083,9.64675997614467));
#50713= IFCARTESIANPOINT((9.76353900559466,9.64675997614467));
#50715= IFCARTESIANPOINT((9.76353900559466,0.));
#50717= IFCARTESIANPOINT((0.,18.8816274908385));
#50719= IFCPOLYLINE((#50705,#50707,#50709,#50711,#50713,#50715,#10,#50717,#50705));
#50721= IFCSHAPEPRESENTATION(#121,'FootPrint','Curve2D',(#50719));
#50724= IFCSLAB('3TXFa_s$141BAHEIVdnjey',#42,'Pavimento:Latero Cementizio - 27 cm:173882',$,'Pavimento:Latero Cementizio - 27 cm',#50624,#50702,'173882',.FLOOR.);
#50727= IFCSTYLETYPE('3TXFa_s$141BAHEIVdnjey',#42,'Pavimento:Latero Cementizio - 27 cm',$,$,($1001,$1004,$1007,$1072,$1074,$1077,$1085,$1088,$1090),$,'173883',$,.FLOOR.);
#50728= IFCARTESIANPOINT((8.35234389756502,3.43509437638264));
#50730= IFCAXIS2PLACEMENT2D(#50728,#30);
#50731= IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA,$,$,#50730,2.66170370868556,3.08);
#50732= IFCARTESIANPOINT((14.6137156856326,9.44081374541926,0.27));
#50734= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#50732,#22,#14);
#50735= IFCXTRUDEDAREASOLID(#50731,#50734,#20,0.27);
#50736= IFCPRESENTATIONSTYLEASSIGNMENT((#50693));
#50738= IFCSTYLEDITEM(#50735,($50736),$);
#50741= IFCSHAPEPRESENTATION(#119,'Body','SweptSolid',(#50735));
#50743= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,($50741));
#50746= IFCLOCALPLACEMENT(#170,#50623);
```

Figura 5.11 – Stringa IFCSLAB con mappato *PredefinedType*

Per l'importazione di questi parametri condivisi è stato necessario scaricare il file "IFC Shared parameters.txt" dal sito www.knowledge.autodesk.com. Effettuato il download, in Revit

si sono importati i due parametri condivisi sopracitati (Figura 5.12).

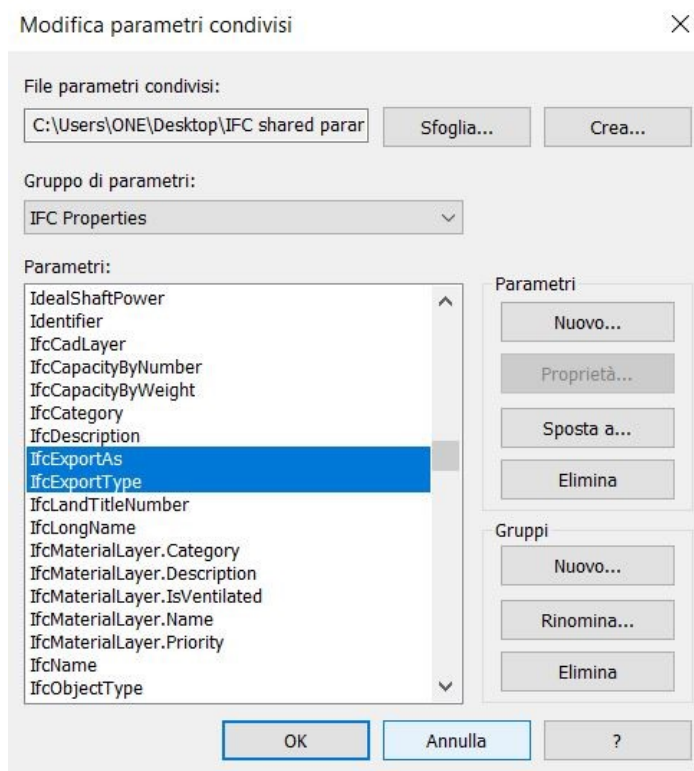


Figura 5.12 – importazione parametri condivisi

Entrambi i parametri sono stati assegnati come parametri di tipo per tutti gli elementi architettonici, mentre sono stati assegnati come parametri di istanza per i vani e per le zone. Sono tutti parametri di testo, appartenenti alla disciplina “Comune” e sono stati tutti raggruppati all’interno del gruppo “Parametri IFC”. Per gli elementi in cui al parametro *IfcExportType* viene assegnato “USERDEFINED” è stato creato anche il parametro *IfcObjectType* al quale è stata attribuita la descrizione definita dall’utente. Per ogni elemento sono stati assegnati quindi i seguenti parametri (Tabella 5.3):

Tabella 5.3 – Assegnazione parametri IFC

	IfcExportAs	IfcEportType	IfcObjectType	Tipo/Istanza
ARCHITETTONICO				
Muri	IfcWall	PARTITIONING/ SOLIDWALL*	-	Tipo
Porte	IfcDoor	DOOR	-	Tipo

Finestre	IfcWindow	WINDOW	-	Tipo
Tetti	IfcSlab	ROOF	-	Tipo
Solai	IfcSlab	FLOOR	-	Tipo
Vani	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato/Non climatizzato**	Istanza
Zone	IfcZone	-	-	Istanza
Scale	IfcStair	TWO_QUARTER_WINDING_STAIR	-	Tipo
Ringhiere	IfcRailing	HANDRAIL	-	Tipo
Topografia	IfcSite	-	-	Tipo
MECCANICO				
Tubazioni	IfcPipeFitting	RIGIDSEGMENT	-	Tipo
Raccordi	IfcPipeFitting	CONNECTOR	-	Tipo
Transizioni	IfcPipeFitting	TRANSITION	-	Tipo
Chiusure	IfcPipeFitting	OBSTRUCTION	-	Tipo
Giunzioni	IfcPipeFitting	JUNCTION	-	Tipo
Caldaie	IfcBoiler	WATER	-	Tipo
Radiatori	IfcSpaceHeater	RADIATOR	-	Tipo

* ai muri esterni e ai muri portanti è stato assegnato "SOLIDWALL" mentre alle partizioni interne è stato assegnato "PARTITIONING"

** sono stati distinti i vani climatizzati, a cui è stato assegnato "Climatizzato" da quelli non climatizzati, a cui è stato assegnato "Non climatizzato"

Per assegnare il parametro *IfcGUID*, ovvero un codice univoco che individua le singole istanze, è stata spuntata la voce "Memorizzare il GUID IFC in un parametro elemento dopo l'esportazione" quando si caratterizza la configurazione di esportazione del file IFC.

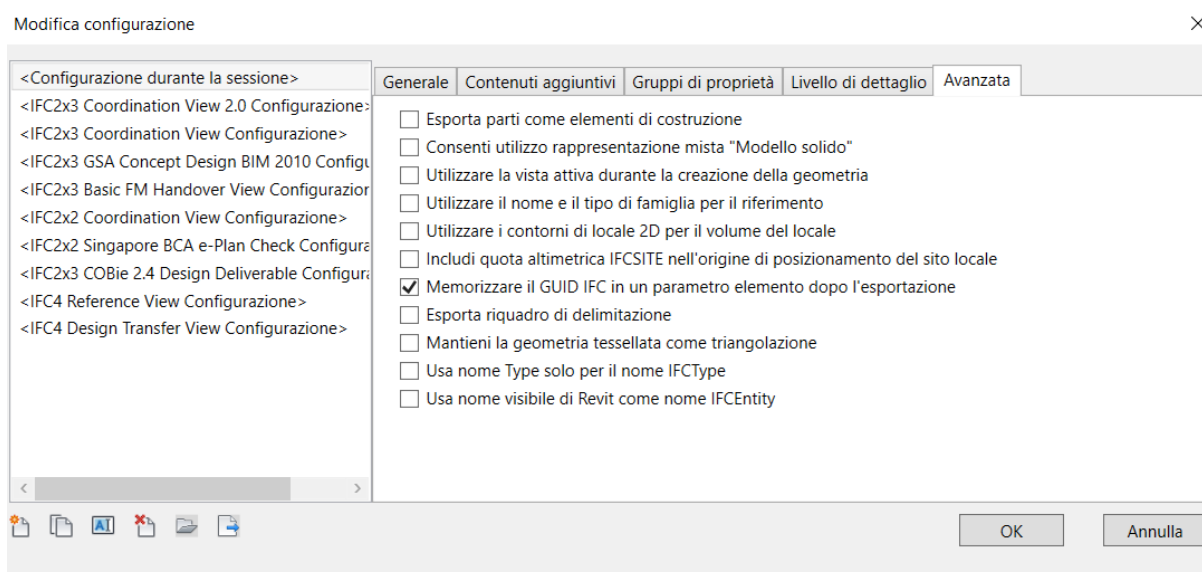


Figura 5.13 – Scheda “Modifica configurazione” al momento dell’esportazione di un file IFC

2.5 Classificazione OmniClass

Il sistema di classificazione OmniClass è composto di 15 tavole, o tabelle, necessarie ad assegnare agli elementi delle informazioni sulla costruzione. Ogni informazione è riconoscibile tramite un codice identificativo di sei cifre che fa riferimento alla tabella. Le prime due cifre del codice indicano la tavola di riferimento, e le successive coppie identificano la tipologia per ogni livello. In questo modo è possibile identificare univocamente un’entità e avere maggiori informazioni in merito.

È stato ritenuto necessario assegnare agli elementi di questo progetto la classificazione OmniClass secondo le tabelle 21 “Elementi”, 22 “Risultati di lavoro” e 23 “Prodotti”. Non possedendo il plug-in di Revit “Bim interoperability tools”, attraverso il quale si potrebbe assegnare velocemente la classificazione OmniClass agli elementi del progetto, sono stati creati dei parametri di testo appositi per assegnare il numero e la descrizione ad ogni elemento. I parametri creati sono

- Classification.OmniClass.21.Number;
- Classification.OmniClass.21.Description;
- Classification.OmniClass.22.Number;
- Classification.OmniClass.22.Description;
- Classification.OmniClass.23.Number;
- Classification.OmniClass.23.Description.

Sono tutti parametri di tipo. Ai parametri “*Number*” è stato assegnato il codice identificativo, mentre ai parametri “*Description*” è stato assegnato il nome della voce a cui corrisponde il codice. Per ogni elemento sono stati assegnati i parametri riportati in Tabella 5.4:

Tabella 5.4 – Assegnazione classificazione OmniClass

	Tabella 21	Tabella 22	Tabella 23
ARCHITETTONICO			
Partizioni interne	21-03 10 10 10 Interior Fixed Partition	-	23-15 11 11 Fixed Partitions
Muri esterni	21-02 20 10 20 Exterior Wall Construction	-	23-13 33 15 Wall Exteriors
Porte	21-03 10 30 Interior Doors	22-08 14 00 Wood Doors	23-17 11 15 Wood Doors
Finestre	21-02 20 20 Exterior Windows	22-08 50 00 Windows	23-17 13 00 Windows
Tetti	21-02 10 20 Roof construction	22-07 41 43 Composite Roof Panels	23-13 33 27 Glazed Facade and Roof Structures
Lucernai	21-02 30 60 10 Roof Windows and Skylights	22-08 60 00 Roof Windows and Skylights	23-17 17 00 Unit Skylights
Solai	21-03 20 30 Flooring	22-09 60 00 Flooring	23-13 35 23 Structural Floors and Flat Roof
Scale	21-02 10 80 Stairs	-	23-17 23 17 Stairs
Ringhiere	21-02 10 80 50 Stair Railings	22-05 52 00 Metal Railings	23-17 23 17 11 17 Stair Railings
MECCANICO			
Tubazioni	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 11 16 Domestic Water Piping	23-27 39 13 13 Aboveground Single Walled Pipes

Raccordi	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 43 00 Pipe Fittings
Transizioni	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 00 Pipe Adapters
Chiusure	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 15 Terminal Pipe Adapters
Giunzioni	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 21 Twist To Lock Y Cord Pipe Adapters
Caldaie	21-04 20 10 20 Domestic Water Equipement	22-22 11 23 Domestic Water Pumps	23-27 17 00 Pumps
Radiatori	21-04 20 10 20 Domestic Water Equipement	22-23 82 29 Radiators	23-33 15 21 13 Finned Tube Radiators

3 ESPORTAZIONE IFC

A questo punto del lavoro si è giunti alla fase di esportazione del file IFC per la successiva importazione in EC700. Si ritiene necessario spiegare l'iter di esportazione. Da *File* → *Esporta* → *IFC* si accede alla finestra relativa alla modalità di esportazione, nella quale si sceglie la cartella in cui salvare il file e la configurazione con la quale lo si vuole esportare.

Per la scelta della versione IFC con cui esportare il file, e quindi della *Model View Definition*, è stato necessario fare delle prove di importazione in EC700 per verificare la risposta del programma.

3.1 Prova importazione IFC in EC700

Le configurazioni di IFC che si è deciso di importare in EC700 sono quattro:

- IFC 2x3 Coordination View 2.0, in quanto quella attualmente più utilizzata nel settore delle costruzioni;
- IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010, poiché creata appositamente per esportare i parametri necessari allo svolgimento di un'analisi energetica;

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti
Elisabetta Presa 1151813

- IFC 4 Reference View, in quanto IFC 4 è l'ultima versione di IFC;
- IFC 4 Design Transfer View, poiché la più recente, e quindi quella che anche buildingSMART consiglia di utilizzare.

Contemporaneamente, le varie esportazioni sono anche state aperte tramite un viewer IFC, per capire se eventuali problemi che si potessero riscontrare durante questa fase fossero propri del software o derivassero da errori nella struttura del file.

3.1.1 IFC 2x3 Coordination View 2.0

Con la configurazione IFC 2x3 Coordination View 2.0 vengono esportate correttamente tutte le entità presenti nel progetto (Figura 5.14).

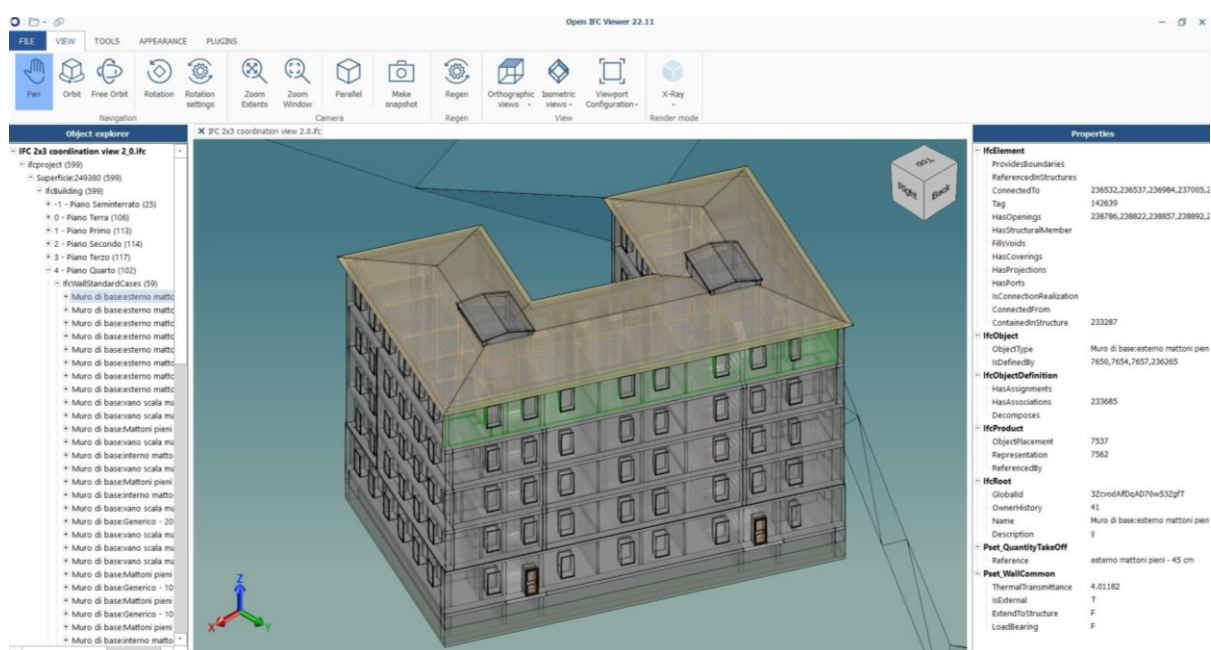


Figura 5.14 - Schermata presa da Open IFC Viewer (IFC 2x3 Coordination View 2.0)

Dopo aver importare il file IFC in EC700, al momento di associazione di zone e vani, sono presenti tutti i vani creati nel software di authoring (Figura 5.15).

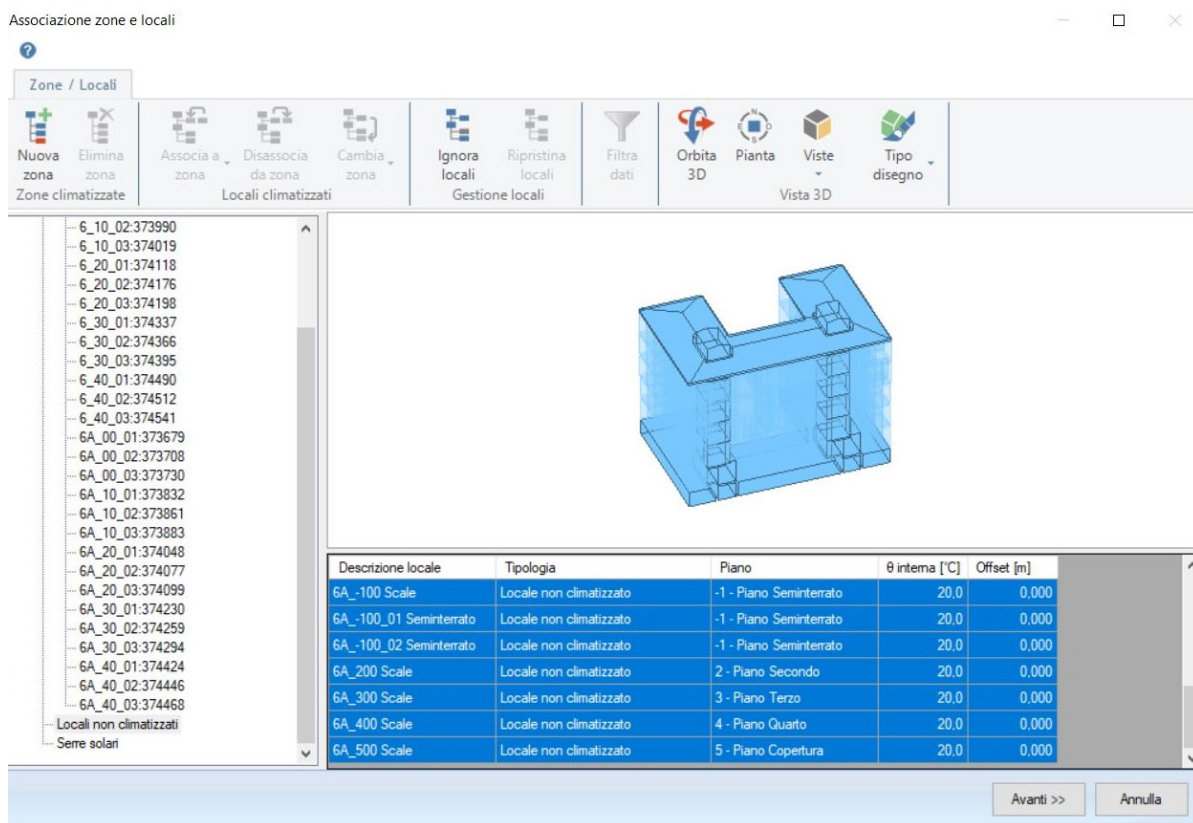


Figura 5.15 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 2x3 Coordination View 2.0)

Importato il file, è stato necessario accedere alla maschera “Input grafico” del programma per verificare che si fossero importate correttamente tutte le strutture. Come si può notare dalla Figura 5.16 tutti gli elementi sono presenti, anche se ci sono degli errori di visualizzazione dei muri associati ai lucernari posizionati sopra ai vani scala.

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

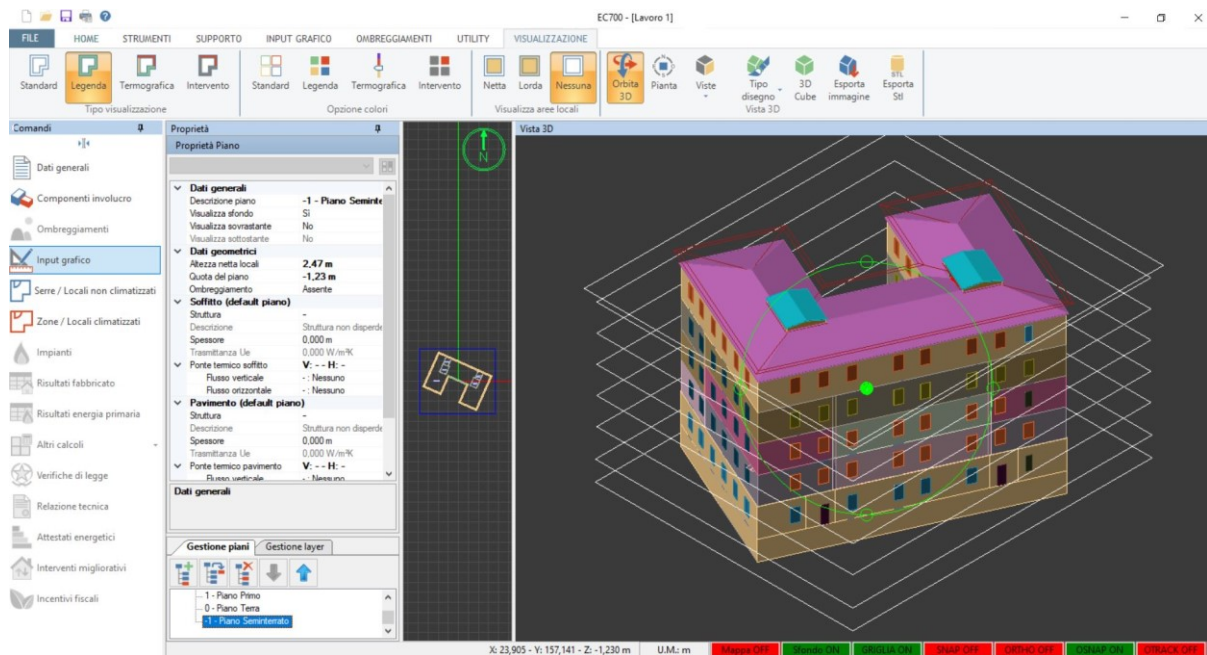


Figura 5.16 – Input grafico EC700 (IFC 2x3 Coordination View 2.0)

3.1.2 IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010

La configurazione IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010 esporta le proprietà necessarie allo svolgimento di un'analisi energetica, e oltre a queste anche tutte le strutture modellate in Revit (Figura 5.17).

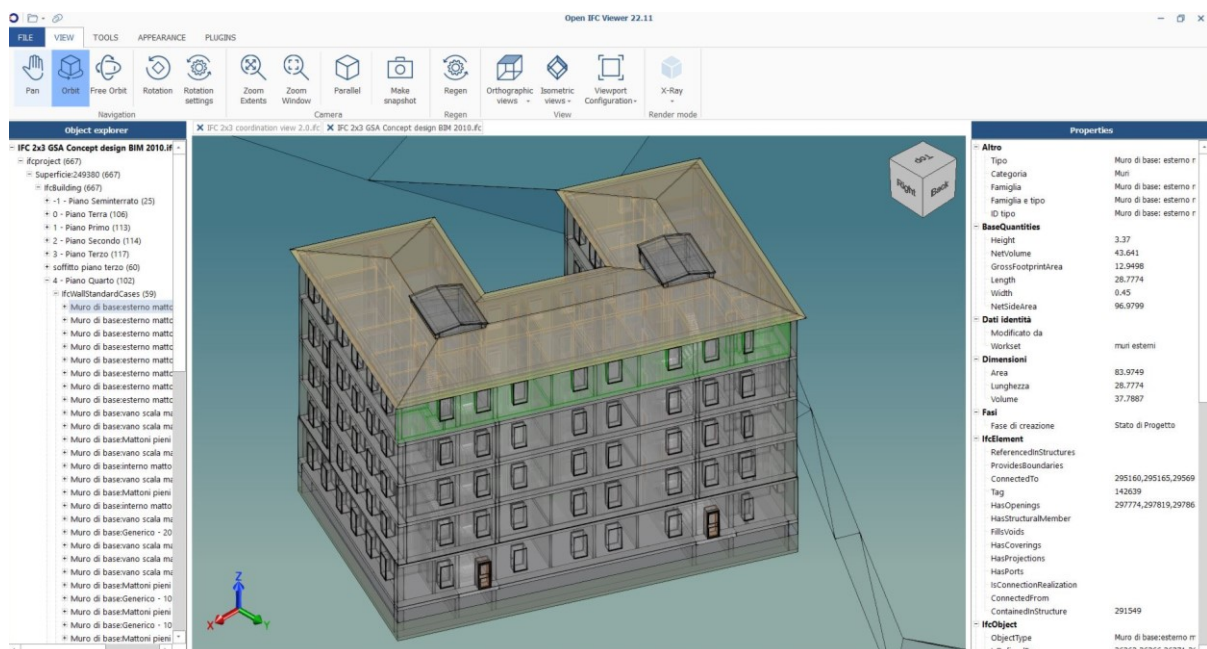


Figura 5.17 - Schermata presa da Open IFC Viewer (IFC 2x3 Concept Design BIM 2010)

In fase di associazione di zone e vani in EC700, tutti i vani e le zone realizzate su Revit vengono correttamente riconosciute (Figura 5.18).

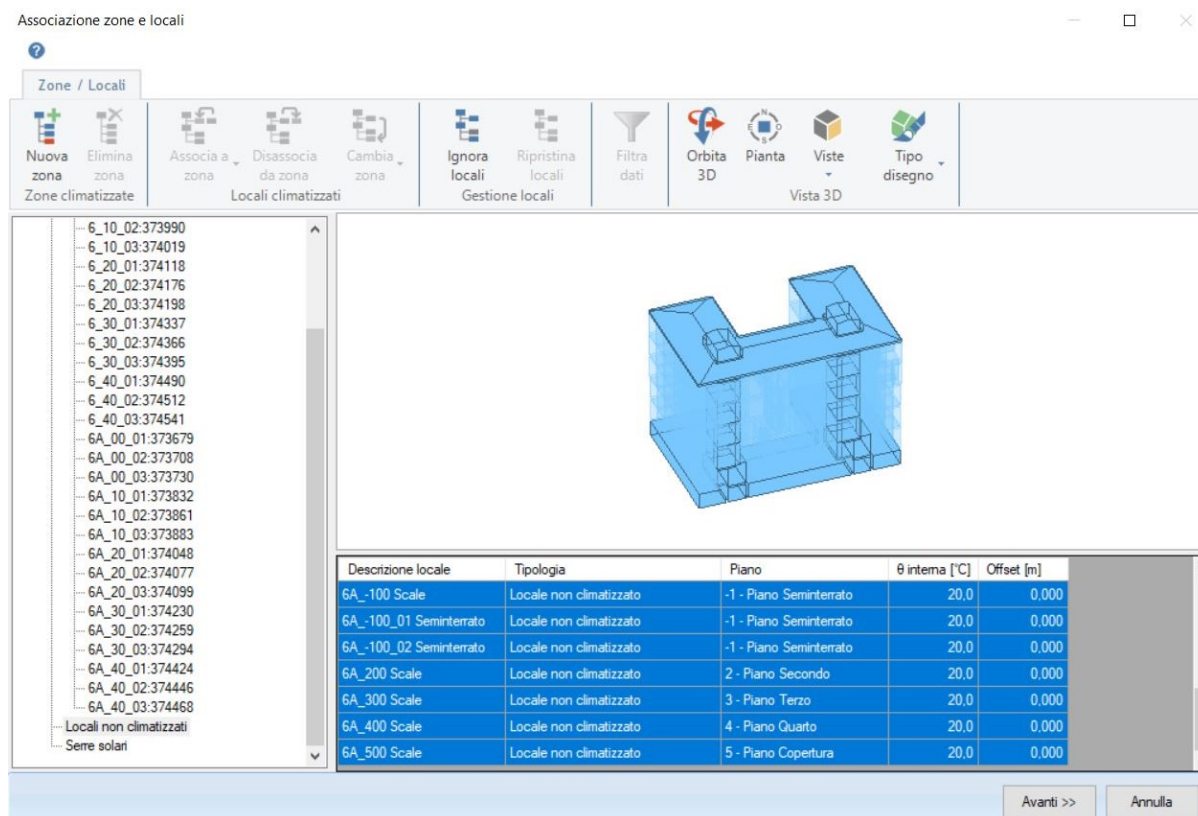


Figura 5.18 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010)

Dopo aver importato il file in EC700 e controllato la maschera “Input grafico” è stato possibile assicurarsi che tutti gli elementi sono stati importati; anche in questo caso si verifica il problema di visualizzazione precedentemente esposto per il quale non si vedono correttamente i muri associati alle coperture dei vani scala (Figura 5.19).

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

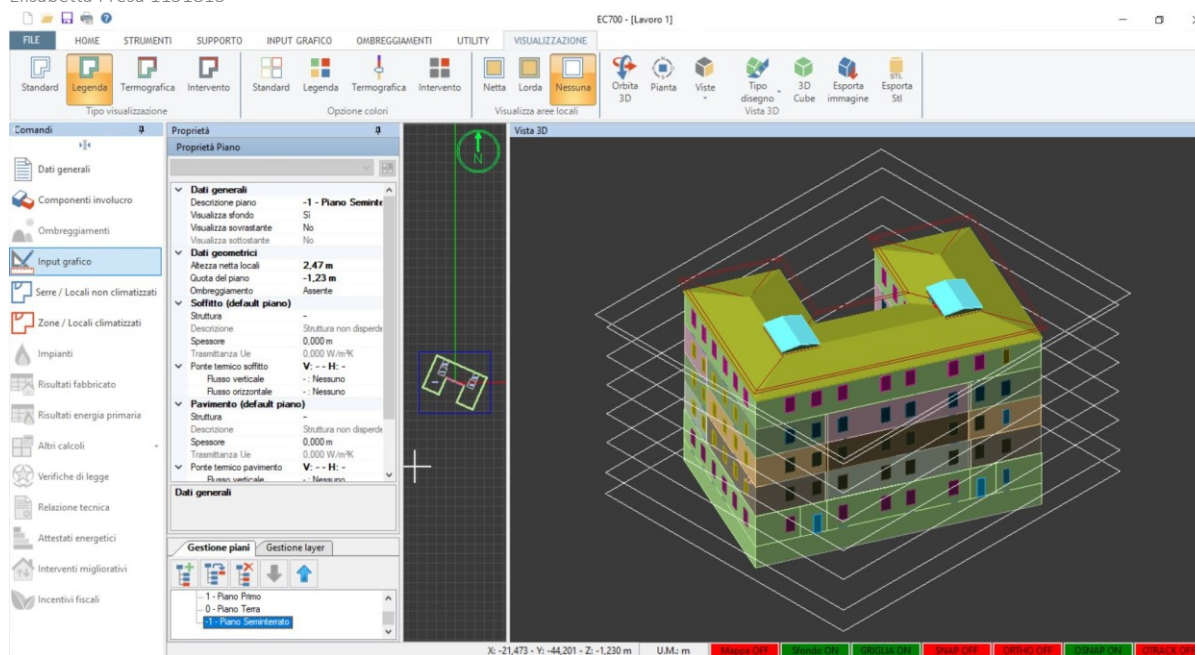


Figura 5.19 – Input grafico EC700 (IFC 2x3 GSA Concept Design 2.0)

3.1.3 IFC 4 Reference View

Con la versione IFC 4 la *model view definition* “Reference View” il modello viene esportato interamente (Figura 5.20).

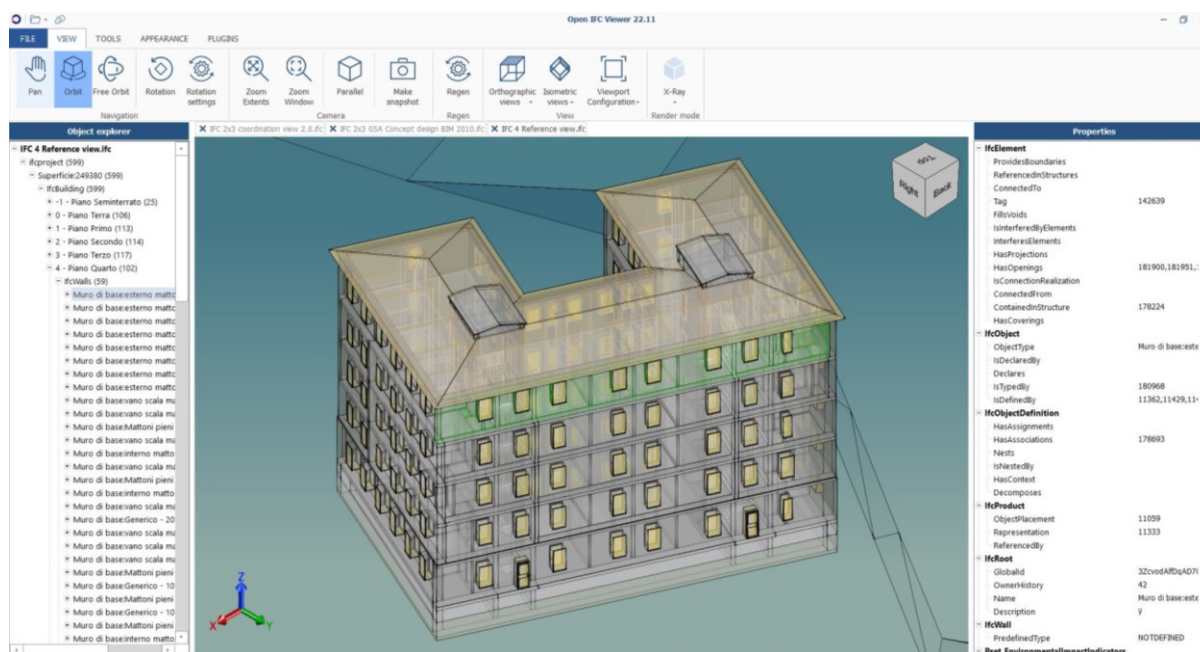


Figura 5.20 – Schermata presa da Open IFC Viewer (IFC 4 Reference View)

Importandolo successivamente in EC700 Edilclima non è in grado di riconoscere i vani inseriti in Revit, e avvisa quindi che non è possibile aprire il file in quanto non sono presenti



Con la configurazione IFC 4 Design Transfer View il modello viene esportato correttamente, come dimostra l'apertura del file tramite il viewer IFC (Figura 5.22).



107

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

Associazione zone e locali

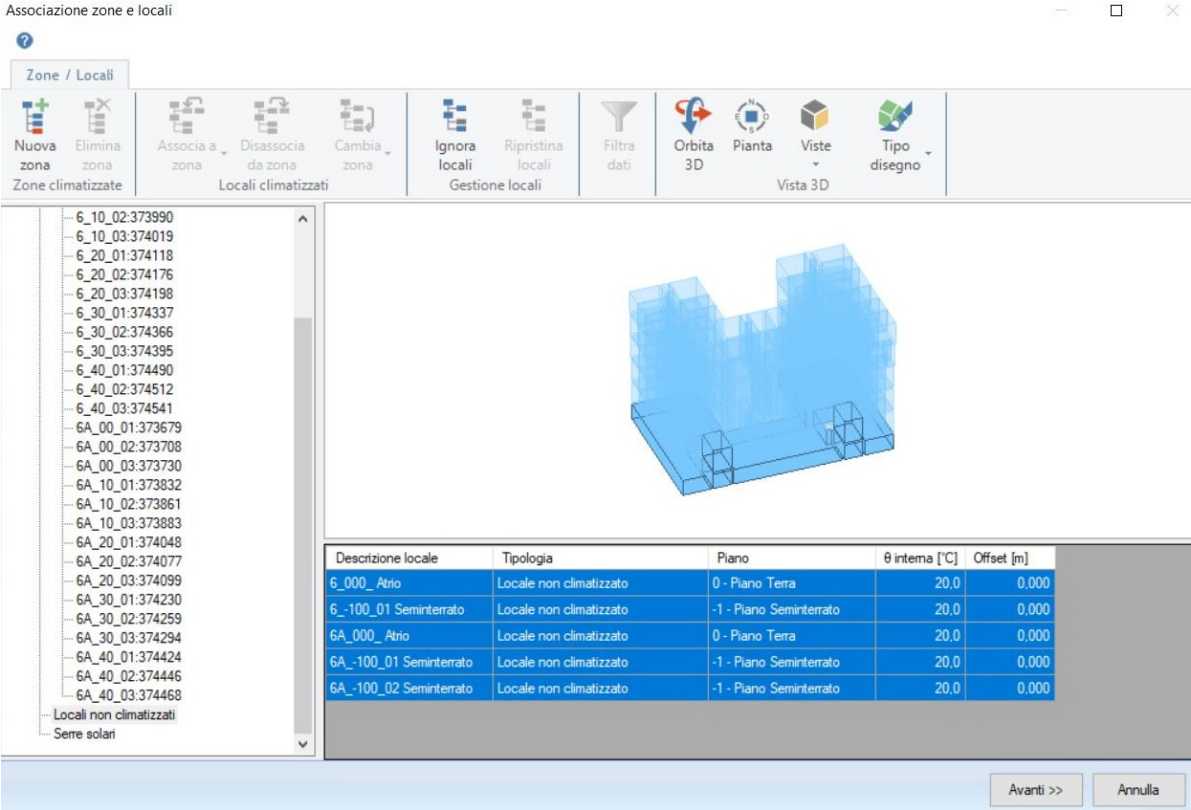


Figura 5.23 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 4 Design Transfer View)

Quando si apre la maschera “Input grafico” dopo l’importazione, si nota come non siano visibili alcuni elementi come le porte d’ingresso, la copertura principale dell’edificio e i muri associati ai lucernari (Figura 5.24).

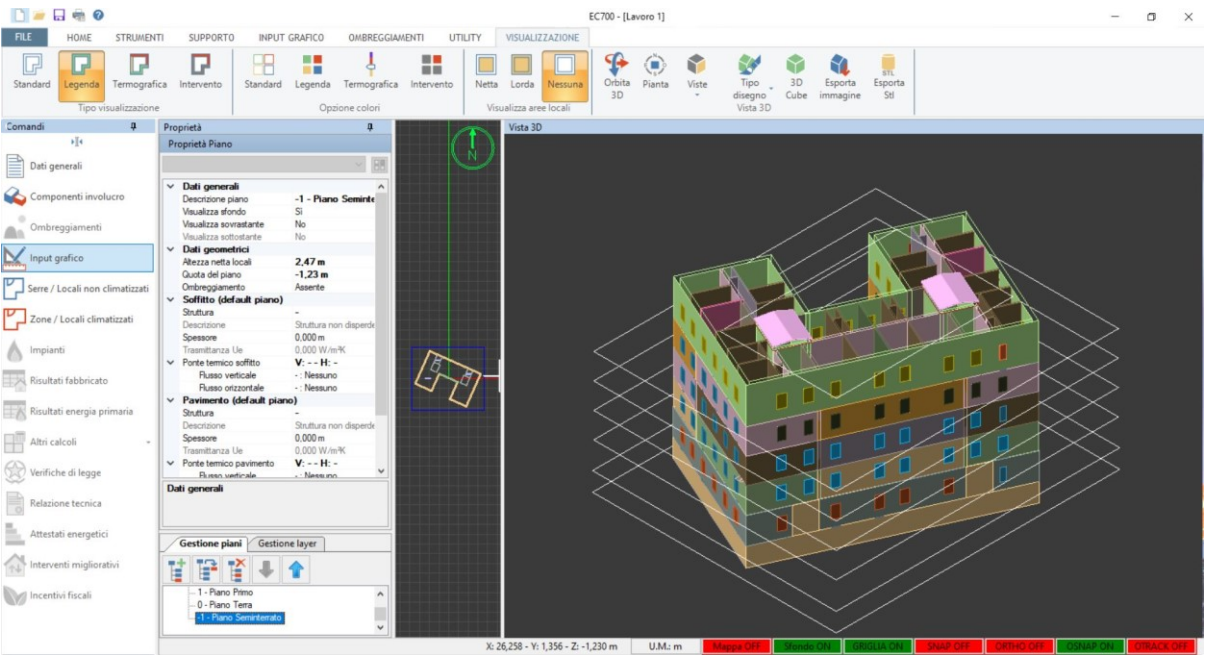


Figura 5.24 – Input grafico EC700 (IFC 4 Design Transfer View)

Alcuni elementi, come la topografia, le scale e le ringhiere, non vengono importati in EC700 con nessuna configurazione di IFC, non sono però necessari allo svolgimento dell'analisi energetica.

La configurazione che si è scelto di usare per esportare il file IFC del progetto è quindi IFC 2x3 GSA Concept View BIM 2010. Con essa, infatti, vengono esportate un maggior numero di proprietà da Revit e non genera problemi al momento dell'importazione in EC700. Si è deciso di non utilizzare IFC 4, nonostante sia la versione più recente, poiché EC700 non è ancora stato implementato per leggerla correttamente.

3.2 Creazione configurazione personalizzata

Si è deciso di creare una configurazione personalizzata per il salvataggio del file in formato IFC: dopo aver selezionato la voce *Salva un file IFC*, si sceglie di modificare la configurazione. Si crea quindi una nuova configurazione basata su IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010, che verrà chiamata, in questo caso, "Edilclima GSA". Si decide di lasciare invariate tutte le voci presenti nella scheda "Generale". Si avrà quindi:

- Versione IFC → IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010;
- Tipo file → IFC;
- Fase da esportare → Fase di default da esportare;
- Contorni di vano (*space boundaries*) → Secondo livello;
- Base coordinate → Coordinate condivise.

Non si ritiene necessario spuntare la voce "Dividi muri, pilastri e condotti per livello" in quanto il modello è stato realizzato utilizzando muri distinti per ogni livello.

Non viene selezionata nessuna voce alla scheda "Contenuti aggiuntivi".

Alla scheda "Gruppi di proprietà" si selezionano le voci: "Esporta gruppi di proprietà di Revit", per esportare tutte le proprietà delle entità realizzate in Revit, e "Esporta gruppi di proprietà IFC comuni"; non è necessario esportare anche i gruppi di proprietà definiti dall'utente in quanto non sono stati creati dei *PropertySet* personalizzati.

Il livello di dettaglio, all'omonima scheda, viene mantenuto basso, in quanto sufficiente al tipo di esportazione necessaria per il lavoro.

All'ultima scheda, "Avanzata", si seleziona:

- Utilizzare il nome e il tipo di famiglia per il riferimento;
- Includi quota altimetrica IFC SITE nell'origine di posizionamento del sito locale;
- Memorizzare il GUID IFC in un parametro elemento dopo l'esportazione.

Conclusa la creazione della nuova configurazione, è possibile selezionarla e procedere all'esportazione.

4 IMPORTAZIONE IFC IN EC700

Esportato il file IFC del modello dell'edificio oggetto di studio dopo aver compiuto le opportune semplificazioni, si è proceduto all'importazione di questo file nel software di analisi, EC700. In questa fase è stato necessario analizzare le informazioni trasferibili da Revit a Edilclima, e quindi il grado di interoperabilità tra i due software.

4.1 Posizionamento del progetto

Non è possibile importare un file IFC in EC700 prima di aver inserito i dati sulla destinazione dell'edificio e i dati climatici. È necessario, pertanto, selezionare la categoria relativa alla destinazione d'uso secondo il DPR 412/93 e inserire il comune italiano all'interno del quale si trova l'edificio, in modo che il software possa compilare in automatico i dati climatici della zona (Figura 5.25).

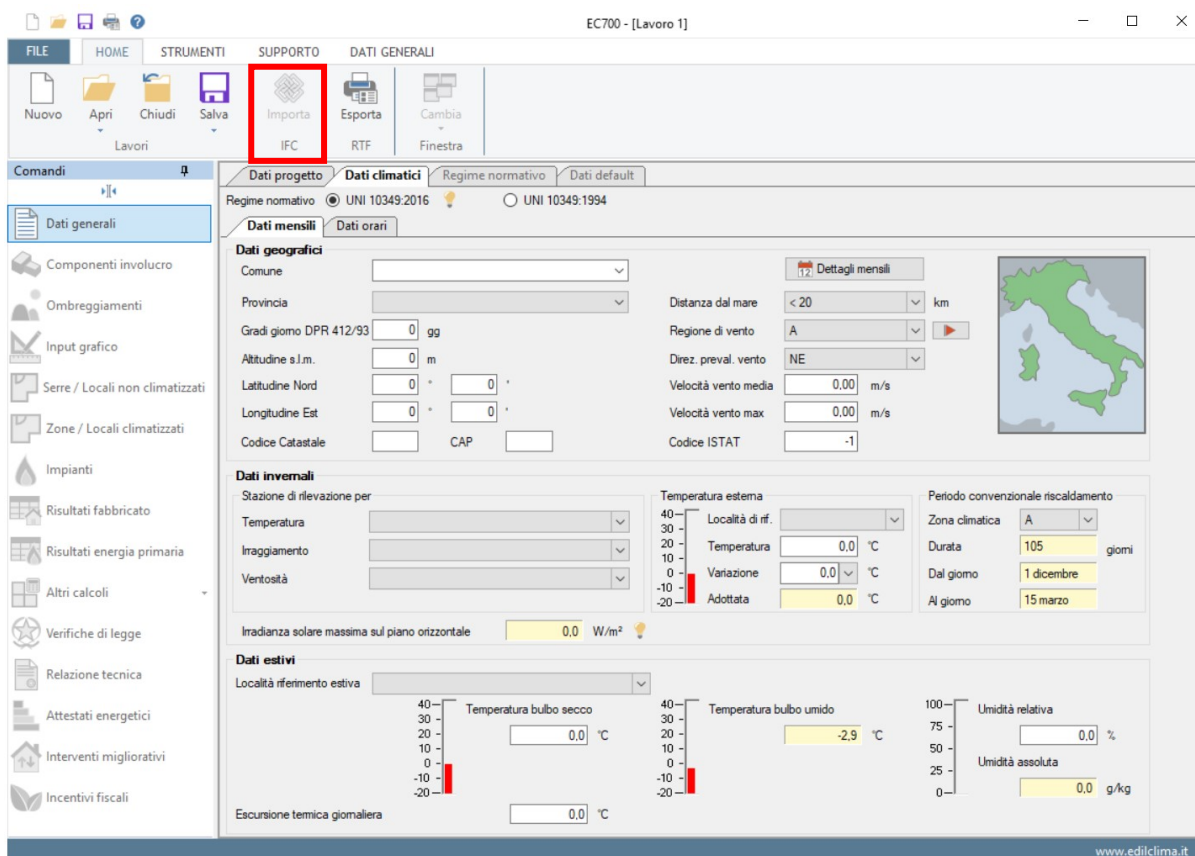


Figura 5.25 – Impossibilità di importazione IFC

Da ciò si deduce che le informazioni riguardanti il posizionamento del progetto assegnate in Revit non vengono trasferite in EC700. La selezione del comune di appartenenza andrebbe comunque fatta in EC700 in quanto Edilclima al suo interno contiene l'archivio dei comuni italiani con i dati climatici previsti dalla normativa italiana.

È stato selezionato quindi il comune di Genova, e successivamente si è compilata in

automatico tutta la scheda relativa ai dati climatici (Figura 5.26), e la categoria E.1(1) “Abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: quali abitazioni civili e rurali”.

The screenshot shows the 'Dati climatici' (Climatic Data) section of the EC700 software. The interface is organized into several panels:

- Geographical Data (Dati geografici):** Includes fields for Comune (Genova), Provincia (Genova), Distanza dal mare (< 20 km), Regione di vento (C), Direzione prevalente vento (NE), Velocità vento media (0.80 m/s), Velocità vento max (1.60 m/s), and Codice ISTAT (10025).
- Winter Data (Dati invernali):** Includes a station selection dropdown (GE - Recco - Polanesi), a temperature scale from -20 to 40 °C, and a 'Periodo convenzionale riscaldamento' section with Zona climatica (D), Durata (166 giorni), Dal giorno (1 novembre), and Al giorno (15 aprile).
- Summer Data (Dati estivi):** Includes a 'Località riferimento estiva' dropdown (Genova), a temperature scale from -20 to 40 °C, and a 'Temperatura bulbo umido' section with a value of 23.6 °C. It also shows 'Umidità relativa' (60.0 %) and 'Umidità assoluta' (16.2 g/kg).

The interface also features a sidebar with various tools and a bottom status bar with the website address www.edilclima.it.

Figura 5.26 – Dati climatici comune di Genova

4.2 Associazione materiali

Durante l’importazione del file IFC in EC700, quest’ultimo richiede l’associazione dei materiali assegnati in Revit, e quindi contenuti nel file IFC, con quelli dell’archivio Edilclima (Figura 5.27). Tra i materiali da associare non compaiono i materiali appartenenti alle famiglie inserite nel progetto in quanto relativi a file, di fatto, esterni a quello del modello.

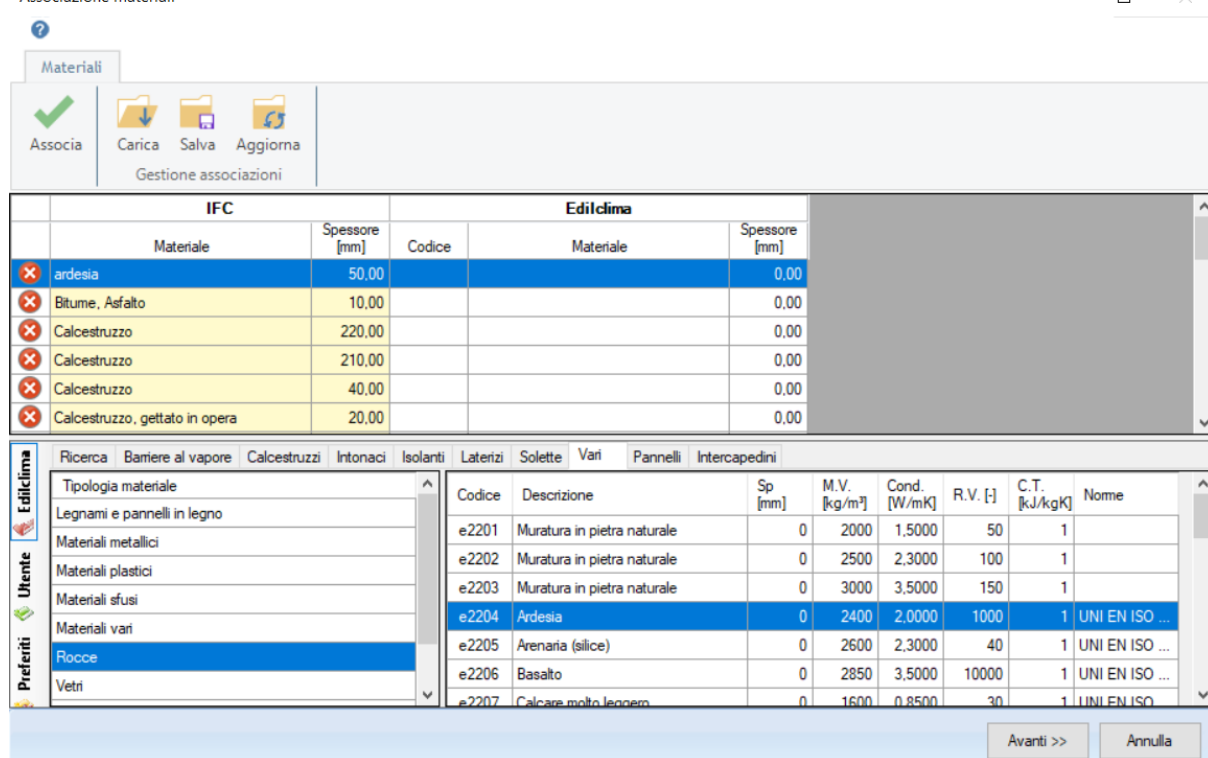


Figura 5.27 – Associazione materiali

Avvenuta l'associazione, il modello, ora inserito in EC700, possiede i materiali di Edilclima e non più quelli delle librerie di Revit. Si può pertanto evincere che i materiali assegnati agli elementi in Revit, e di conseguenza tutte le loro proprietà, non vengono trasferiti in EC700. Conclusa l'importazione del file, infatti, i materiali attribuiti agli elementi sono quelli dell'archivio Edilclima.

Il software EC700 permette la creazione di un file XML di associazione dei materiali IFC con i materiali Edilclima, in modo che se si dovesse importare un file IFC che contiene gli stessi materiali di un file già precedentemente importato, si può caricare il file XML e completare in questo modo l'associazione, riducendo sensibilmente i tempi di questa fase, specialmente se nel progetto di partenza sono presenti molti materiali diversi. Per compiere questa operazione è necessario utilizzare il comando *gestione associazioni* → *salva*, e per le successive associazioni utilizzare *gestione associazioni* → *carica* (Figura 5.27).

A seconda delle esigenze dell'utente è possibile anche creare un archivio personalizzato di materiali all'interno del quale se ne possono creare di propri, se non presenti nell'archivio Edilclima predefinito. Anche in questo caso le procedure descritte sono le medesime.

I materiali presenti nel file IFC associati a quelli dell'archivio di Edilclima sono riportati nella Tabella 5.5.

Tabella 5.5 – Confronto materiali IFC con materiali archivio Edilclima

Materiali IFC	Materiali Edilclima	Codice Edilclima
Ardesia	Ardesia	e2204
Bitume, asfalto	Membrana bituminosa (per THERMO 2G)	e12701
Calcestruzzo	C.l.s. armato (1% acciaio)	e434
Calcestruzzo, gettato in opera	Calcestruzzo Centro Storico	e23005
Ceramica bianca	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	e1704
Defaulti – Muro	Roccia naturale sedimentaria	e2218
Intonaco – Bianco	Malta di gesso con inerti	e1018
Laterizio (2)	Soletta in laterizio	e2302
Legno dolce, legname	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	e1101
Malta di calce	Malta di calce o di calce e cemento	e1023
Malta di gesso con inerti	Malta di gesso con inerti	e1020
Pavimentazione	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	e1704
Roccia sedimentaria	Roccia naturale sedimentaria	e2218
Sabbia e calcestruzzo	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	e2402

Non è quindi necessario che in Revit vengano caratterizzati i materiali nel dettaglio in quanto EC700 richiede l'associazione con i materiali del suo archivio. È necessario solamente che i materiali possano essere riconosciuti tramite il nome di Revit, e quindi è preferibile non assegnare, ad esempio, agli elementi i materiali di default.

4.2.1 Creazione nuova libreria Revit

Dato che le proprietà dei materiali non si importano in EC700, per facilitare la fase di

associazione si è deciso di creare una nuova libreria in Revit, nella quale i materiali fossero denominati con il codice e la descrizione di quelli contenuti nell'archivio Edilclima.

Per questioni di dimensione di file sono state create tre librerie apposite contenenti tutte le categorie di materiali dell'archivio Edilclima, ovvero: barriere al vapore, calcestruzzi, intonaci, isolanti, laterizi, solette, vari, pannelli, intercapedini (Figura 5.28).

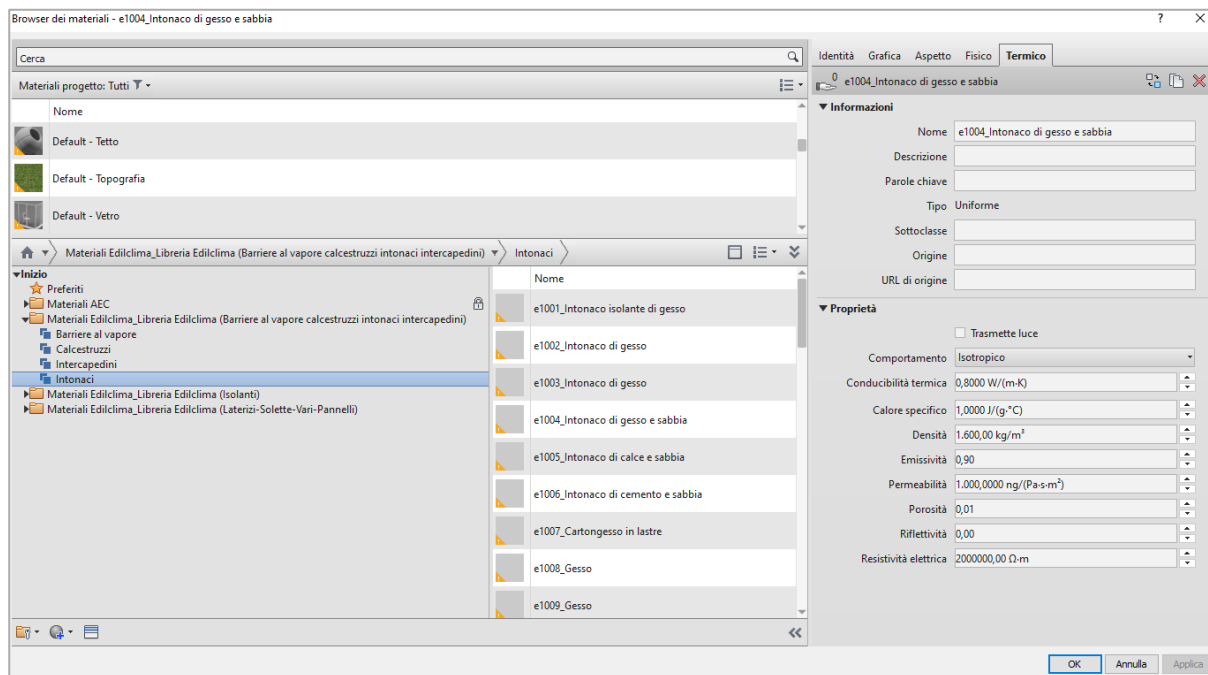


Figura 5.28 – Librerie Revit con materiali Edilclima

Per ogni materiale sono state assegnate anche le caratteristiche termiche, nonostante queste caratteristiche non vengono trasferite a EC700, per poter, in futuro, fare un confronto con altri software che leggono invece queste informazioni.

A questi materiali creati è stato assegnato un nome che contenesse al suo intero il codice del materiale di Edilclima e la descrizione, separati da un *underscore*, ad esempio "e101_BARRIERA vapore in bitume puro". L'intenzione è quella di semplificare l'operazione di associazione dei materiali, utilizzando in Revit questa nuova libreria di materiali, e trovando facilmente, entrati in EC700, il materiale con il codice uguale (Figura 5.29).

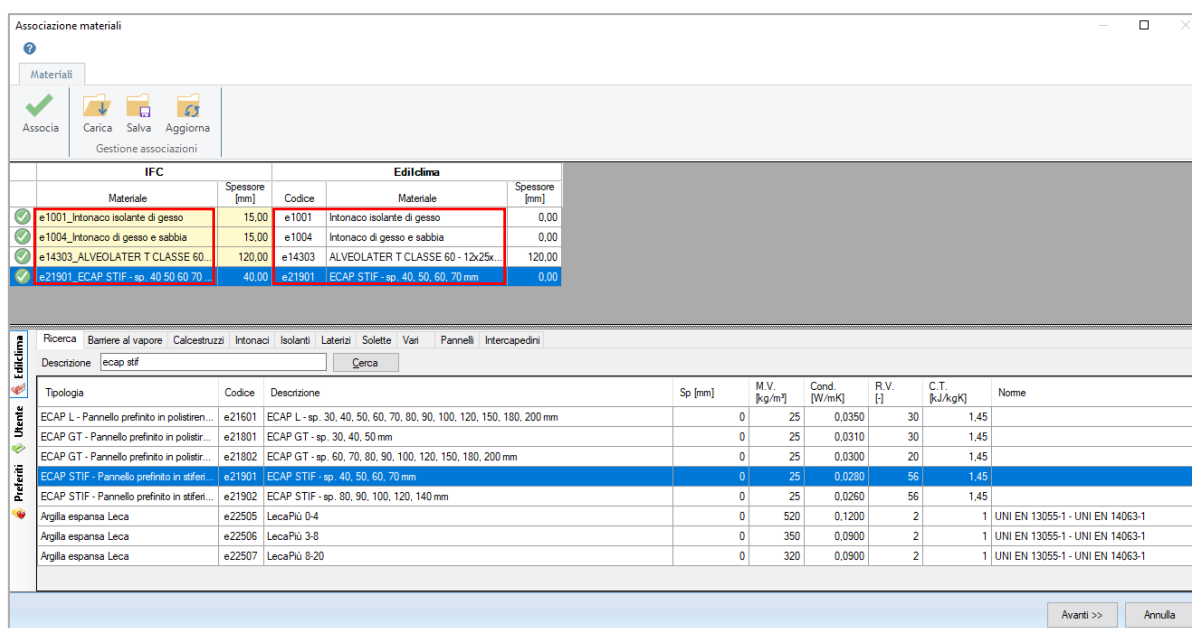


Figura 5.29 – Associazione materiali IFC (libreria Edilclima) e materiali archivio Edilclima

La medesima procedura di creazione di una libreria è stata eseguita utilizzando però la libreria utente di SEINGIM. In questo caso le categorie presenti sono: isolanti, intonaci, solette, vari.

4.3 Locali e vani

Come anticipato, affinché un file IFC possa essere importato in EC700, è necessario che vengano inseriti al suo interno o i locali o i vani. Per una questione di completezza, nonostante sia stato scelto di inserire i vani nel progetto, si è voluto fare una prova di importazione anche inserendo i locali, per poter fare il confronto. Per l'assegnazione dei locali all'interno di Revit si è seguita la stessa numerazione utilizzata per i vani.

4.3.1 Locali

I locali vengono importati in EC700 con il medesimo nome assegnato in Revit; non sono raggruppabili in zone in Revit e per questo motivo, in fase di importazione, è necessario ricreare le zone termiche e inserire, in ognuna di esse, i locali di appartenenza (Figura 5.30).

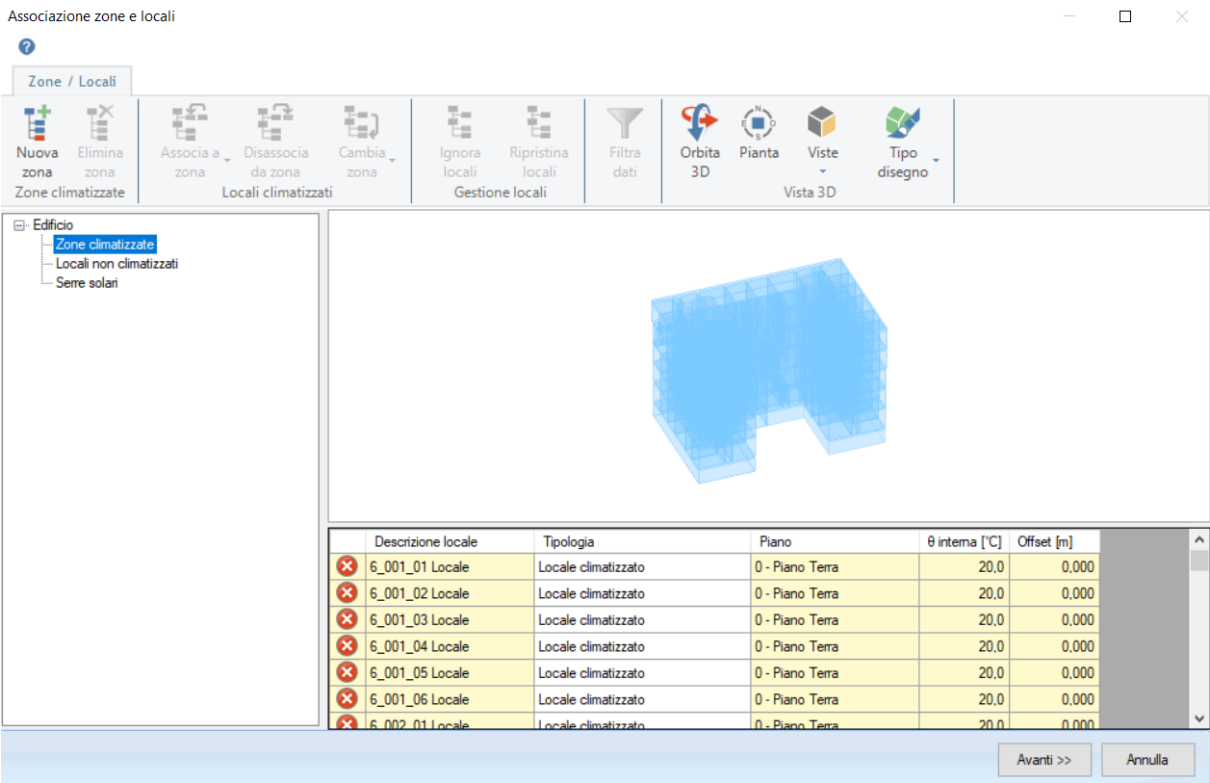


Figura 5.30 – Associazione locali

A ogni locale viene attribuita automaticamente la tipologia “Locale climatizzato”, la quale va opportunamente cambiata a seconda dell’esigenza. Le tipologie attribuibili sono: locale irregolare, locale climatizzato, locale climatizzato verso terreno, locale non climatizzato, locale non climatizzato verso terreno, serra solare, serra solare verso terreno.

4.3.2 Vani

Se in Revit si decide di inserire i vani, è possibile raggrupparli in zone, come si è deciso di fare per questo lavoro. Importando il file IFC in EC700, si nota come i vani rimangono raggruppati all’interno della zona creata in Revit e sia i vani che le zone mantengono lo stesso nome assegnato nel software di authoring. EC700 non riconosce la proprietà dei vani “tipo di climatizzazione” assegnata in Revit, e quindi non distingue automaticamente i locali climatizzati da quelli non climatizzati (Figura 5.31).

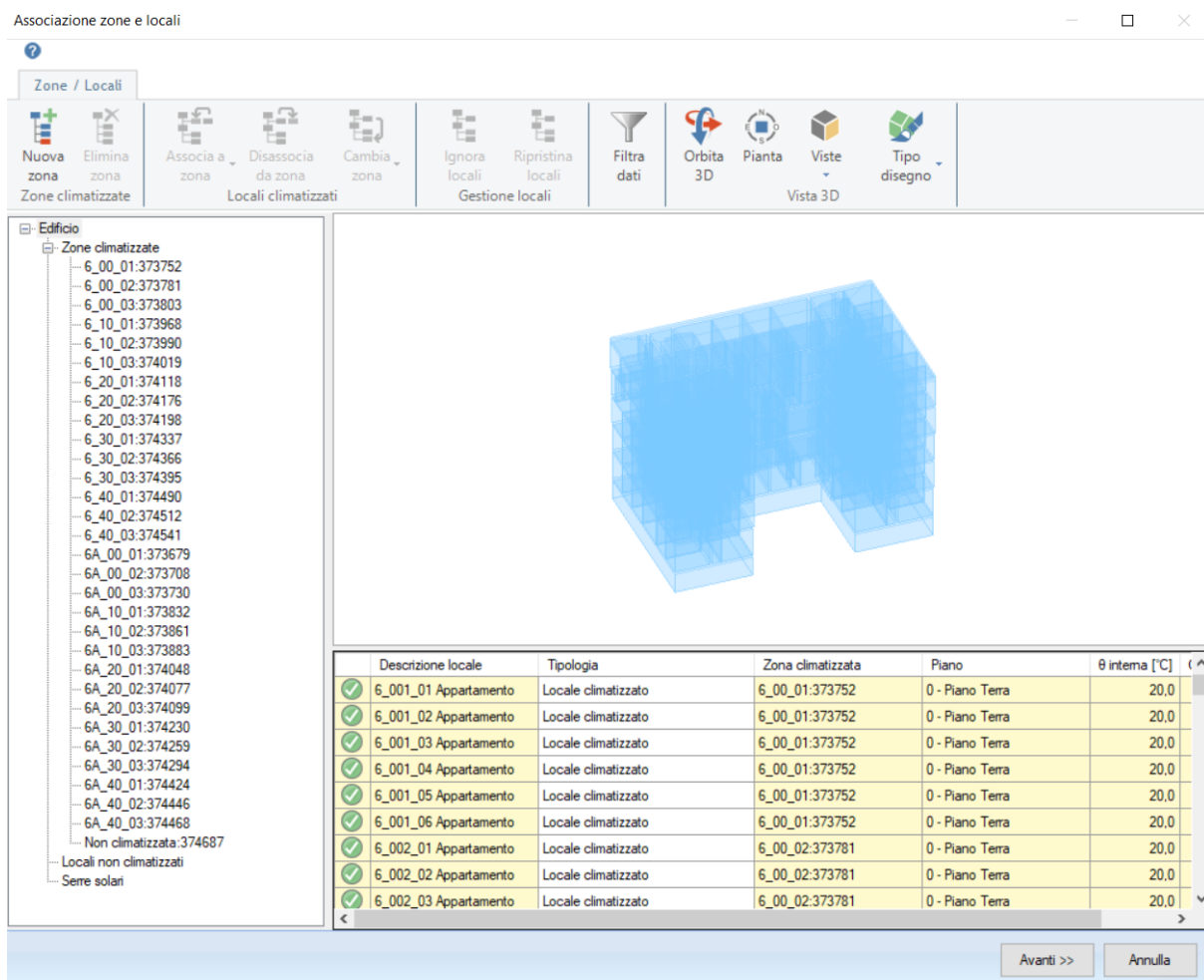


Figura 5.31 – Associazione vani

In questo caso è stata creata una zona denominata “Non climatizzata”, in Revit, all’interno della quale sono stati raccolti tutti i locali realmente non climatizzati. In questo modo, giunti in EC700 è stato più veloce ritrovare questi locali e cambiare a ognuno di essi la tipologia in modo tale che si raggruppassero tutti all’interno dei “Locali non climatizzati”.

È, perciò, più intuitiva e veloce la procedura di importazione quando in Revit si posizionano i vani anziché i locali.

Inoltre, tutti i vani o i locali che si posizionano devono essere correttamente delimitati da strutture disperdenti.

4.3.2.1 Proprietà dei vani importate

Le proprietà dei vani presenti in Revit che vengono trasferite e quindi riportate in EC700 sono: numero del vano, nome del vano (queste due proprietà vengono raggruppate per formare la “descrizione” del vano in EC700), altezza netta, area, volume, zona di appartenenza.

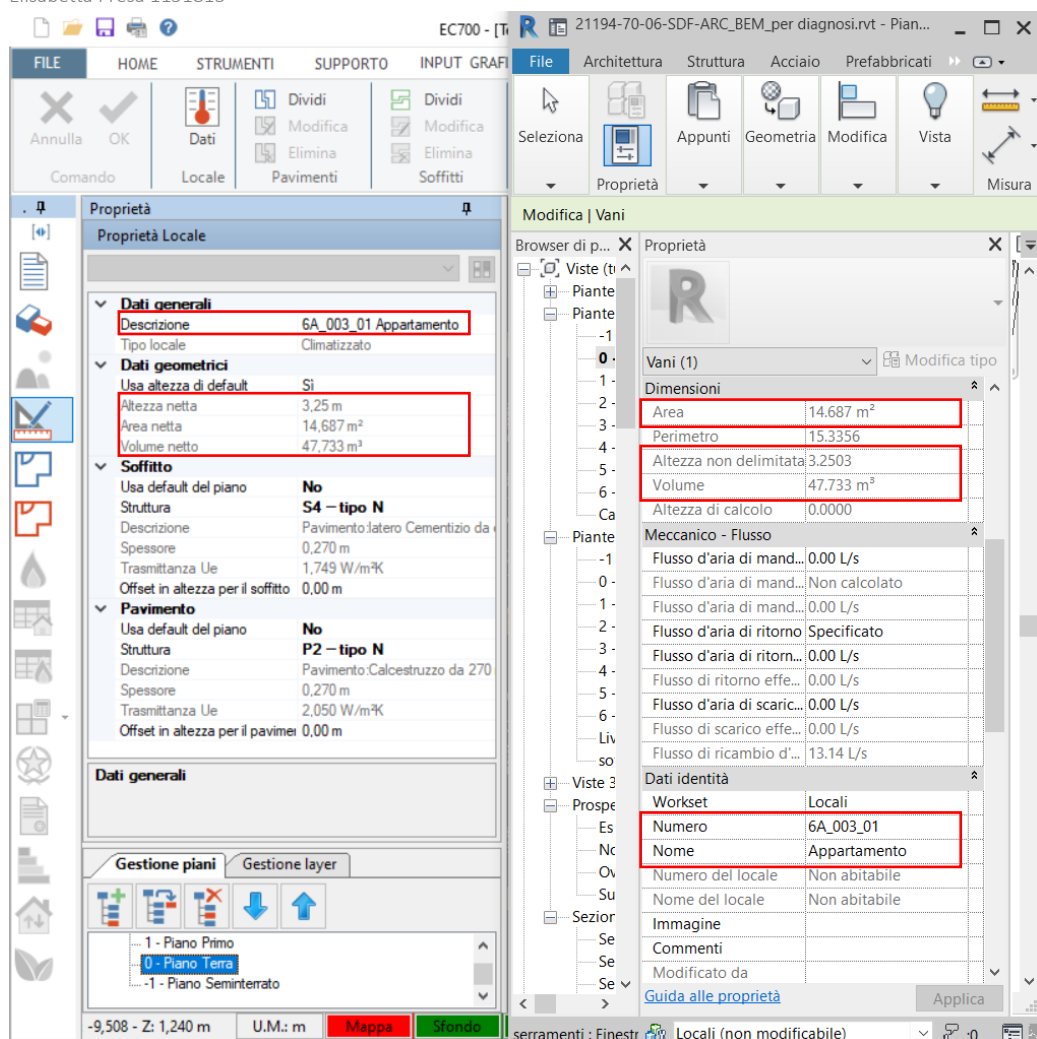


Figura 5.32 – Confronto proprietà vani, EC700 e Revit

4.4 Impianti

Come illustrato nei precedenti capitoli, sono stati realizzati anche gli impianti di riscaldamento e acqua calda sanitaria all'interno del modello dell'edificio. Al fine di verificare se essi venissero o meno importati all'interno del software EC700, sono state fatte alcune prove. Le prove svolte sono state:

- l'importazione di un file impiantistico con collegato un file architettonico: per disegnare il modello impiantistico è stato necessario collegare al modello meccanico il file del modello architettonico creato in precedenza; esportando il file IFC e importandolo in EC700, quest'ultimo non consente di ultimare l'importazione in quanto non riconosce i vani e le zone create nel modello architettonico.
- l'importazione di un file architettonico con collegato un file impiantistico: premettendo che è un procedimento scorretto poiché significherebbe creare

un modello impiantistico collegando il file architettonico, “scaricare” il collegamento del file architettonico per riaprirlo e collegare al suo interno il modello meccanico appena realizzato, in questo caso, importato il modello in EC700, gli impianti non compaiono.

Entrambe queste prove sono state eseguite utilizzando il comando *inserisci* → *collega* → *gestisci collegamenti* → *aggiungi*.

Il software EC700 non è programmato per importare al suo interno due file collegati tra loro, nemmeno se si tratta di due file architettonici. Nel caso in cui si provasse questa importazione si noterebbe che in EC700 si importa esclusivamente il file principale, al quale sono stati collegati altri file, ma non i file ad esso collegati.

5 DIAGNOSI ENERGETICA

Essendo l’edificio sottoposto a interventi relativi al Superbonus, si è deciso di condurre una diagnosi energetica per calcolare i consumi energetici, in termini di kWh/m²/anno, prima e dopo l’intervento trainante proposto, ovvero il posizionamento del cappotto termico esterno.

Dalle indicazioni del Comune di Genova, si evidenzia che dato che i prospetti presentano elementi a rilievo e decori, l’intervento di posa del cappotto può essere realizzato esclusivamente dal primo al quarto piano, al di sopra della cornice marcapiano.

Si è proceduto allo svolgimento della diagnosi energetica servendosi del software EC700 di Edilclima e i suoi moduli, ad esempio EC720. Al fine dell’approvazione dell’intervento, con la sua realizzazione, l’edificio deve raggiungere un miglioramento nei consumi corrispondente ad almeno due classi energetiche; non avendo a disposizione un rilievo, architettonico e impiantistico, dettagliato è stato necessario fare diverse ipotesi, e assicurarsi che con tutte le ipotesi avvenisse il salto di due classi energetiche. Non essendo al corrente dello stato degli impianti e della tipologia della caldaia, e dei materiali dai quali sono costituiti gli infissi dell’edificio, sono stati calcolati i consumi dell’edificio ipotizzando:

1. Un edificio con una caldaia e un sistema di riscaldamento poco prestante, e degli infissi in alluminio, ovvero molto disperdenti;
2. Un edificio con una caldaia e un sistema di riscaldamento poco prestante, e degli infissi in PVC, ovvero poco dispendenti;
3. Un edificio con una caldaia e un sistema di riscaldamento prestante, e degli infissi in PVC, ovvero poco dispendenti.

Infatti, il cappotto esterno ha un margine migliorativo minore quando l’edificio è più prestante dal punto di vista energetico; migliora invece, in proporzione, notevolmente le prestazioni energetiche di un edificio quando esso è meno prestante.

La diagnosi è stata svolta seguendo due metodologie differenti: utilizzando la maschera “interventi migliorativi” e aggiungendo in questa fase l’intervento di cappotto esterno e

aggiungendo, in EC700, uno stato di isolante ad ogni parete esterna per poi svolgere nuovamente il calcolo. Delle due procedure si preferisce la seconda illustrata, in quanto più precisa ma in questo modo è stato possibile anche vedere le differenze tra i due iter seguiti.

Viene ritenuto opportuno specificare che in questo caso non è stata selezionata la voce “Calcolo dinamico orario (UNI EN ISO 52016)” e pertanto il software ha eseguito un calcolo in regime semi-stazionario.

Si procede illustrando le maschere del software che si sono compilate per arrivare all’obiettivo preposto.

5.1 Maschera Dati generali

Utilizzando il software presso l’azienda Seingim Global Service s.r.l., la sezione “Studio” nella scheda “Dati progetto”, si è compilata automaticamente e sono stati poi aggiunti i dati relativi all’edificio e al committente. Si è selezionata la destinazione d’uso dell’edificio, ovvero la categoria, secondo il DPR 412/92, alla quale appartiene, ovvero “E.1 (1) - abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo: quali abitazioni civili e rurali” e lo scopo del calcolo, come già anticipato, la diagnosi energetica (Figura 5.33).

The screenshot displays the EC700 software interface, specifically the 'Dati generali' (General Data) tab under 'Dati progetto' (Project Data). The interface is organized into several sections:

- Studio:** Fields for 'Nome' (Name) and 'Indirizzo' (Address). The name is 'SEINGIM - GLOBAL SERVICE S.R.L.' and the address is 'VIA DUCA D AOSTA, 67/6 - 30022 CEGGIA (VE)'.
- Edificio:** Fields for 'Descrizione' (Description) and 'Indirizzo' (Address). The description is 'Condominio 2 civici - 30 unità abitative' and the address is 'Via Maria Santissima Ausiliatrice 6/6A'.
- Committente:** Fields for 'Nome' (Name) and 'Indirizzo' (Address). The name is 'SIRAM'.
- Destinazione d'uso:** A dropdown menu for 'Categoria DPR 412/93' is set to 'E.1 (1)'. There are checkboxes for 'Edificio pubblico o ad uso pubblico' and 'Edificio situato in centro storico'.
- Scopo del calcolo:** A dropdown menu is set to 'Diagnosi energetica (valutazione A3)'. There is a checkbox for 'Verifiche di legge ed APE (Calcolo regolamentare - valutazione A1/A2)'.
- Calcoli aggiuntivi:** A checkbox for 'Calcolo dinamico orario (UNI EN ISO 52016)' is unchecked. There are checkboxes for 'Potenza estiva' (set to 'Carrier-Pizzetti') and 'Computi metrici'.
- Professionisti:** A table with columns for 'Descrizione', 'Progettista isolamento', 'Progettista impianti', 'Direttore lav. isolamento', 'Direttore lav. impianti', and 'Certificatore'. The table is currently empty.

The bottom right corner of the interface shows the website 'www.edilclima.it'.

Figura 5.33 – Maschera “Dati generali”, scheda “Dati progetto”

Sono stati poi inseriti i dati climatici del comune in cui si trova l'edificio, ovvero Genova, all'apposita scheda "Dati climatici" (Figura 5.26).

Alla scheda "Regime normativo" è stato selezionato il decreto interministeriale del 26 giugno 2015 sia alla sezione "Verifiche di legge e relazione tecnica" sia alla sezione "Attestati energetici". È stato selezionato il calcolo analitico per i ponti termici, per le serre e i locali non climatizzati e per la capacità termica. Si è scelto di svolgere il calcolo automatico per gli ombreggiamenti e il calcolo con angolo di Azimut per la radiazione solare. Come opzioni normative sono state selezionate il DM 26 giugno 15 e UNI/TS 11300 per il rendimento globale medio stagionale, la UNI EN ISO 13788 per la verifica di condensa interstiziale e la UNI/TS 11300-4 e 5 del 2016 per il regime normativo (Figura 5.34).

The screenshot shows the 'EC700 - [Diagnosi_IFC 2x3 GSA_Pre_serr]' window with the 'DATI GENERALI' tab selected. The 'Regime normativo' sub-tab is active, displaying the following settings:

- Verifiche di legge e relazione tecnica:**
 - secondo: D.Intern. 26.06.15
 - ☒ Abilita verifiche secondo DLgs 03.03.2011, n. 28
 - Data titolo edilizio: dal 1 gennaio 2018
 - ☐ CAM - Criteri Ambientali Minimi (DM 11.10.2017)
- Attestati energetici:**
 - secondo: D.Intern. 26.06.15
 - ☐ Edificio privo di impianto riscaldamento
 - ☐ Edificio privo di impianto ACS
- Opzioni lavoro:**
 - Ponti termici: ☒ Calcolo analitico
 - Capacità termica: ☒ Calcolo analitico
 - Resistenze liminari: Appendice A UNI EN ISO 6946
 - Definizione ombreggiamenti: ☒ Calcolo automatico
 - Serre e locali non climatizzati: ☒ Calcolo analitico
 - Radiazione solare: ☒ Calcolo con angolo di Azimut
- Opzioni normative:**
 - Rendimento globale medio stagionale: DM 26.06.15 ed UNI/TS 11300 (calcolo "fisico")
 - Verifica di condensa interstiziale: UNI EN ISO 13788
 - Regime normativo: UNI/TS 11300-4 e 5:2016

Figura 5.34 – Maschera "Dati generali", scheda "Regime normativo"

5.2 Maschera Componenti involucro

Alla maschera "Componenti involucro" compaiono, nell'albero di navigazione, tutti i componenti costituenti l'edificio che sono stati inseriti in Revit. I componenti dell'edificio vengono raggruppati sotto ad alcune categorie, vengono identificati dal nome del tipo di elemento assegnato in Revit e ad essi viene assegnato un codice costituito da una lettera e da un numero progressivo. I componenti opachi vengono raggruppati alla voce "Muri", si distinguono con la lettera M, la categoria "Pavimenti" possiede un codice identificativo

costituito dalla lettera P, i “Soffitti” vengono identificati dalla lettera S, la categoria “Ponti termici” dalla lettera Z e i componenti finestrati dalla W.

Tutti i componenti presenti in questa maschera sono ereditati da Revit tramite il file IFC importato; fanno eccezione i ponti termici, i quali è stato necessario configurare.

5.2.1 Muri, pavimenti e soffitti

Selezionando un componente opaco come un muro, nella finestra, in alto, compare il suo codice univoco, la sua descrizione (ovvero il nome del tipo di elemento ereditato da Revit) e il tipo di muro, ovvero un’identificazione del muro attraverso la tipologia dei vani adiacenti ad esso. Esistono otto tipi, identificati con delle lettere: da locale climatizzato verso esterno (T), da locale climatizzato verso terreno (G), da locale climatizzato verso locali non climatizzati (U), da locale climatizzato verso locali vicini (N), da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa (A), da locale non climatizzato verso esterno (E), da locale non climatizzato verso terreno (R), divisorio interno alla zona climatizzata (D). L’informazione riguardante il tipo di struttura viene ereditata da Revit.

Compaiono anche i suoi dati generali, che mostrano la stratigrafia, specificando lo spessore di ogni strato e la conducibilità termica di ognuno di essi. In questa scheda si sono selezionati i dati relativi alla temperatura esterna utilizzata per il calcolo della potenza invernale (0,0°C), l’emissività (0,9) e l’inclinazione sull’orizzonte (90°). Si è poi specificato che si tratta di una struttura esistente (Figura 5.35).

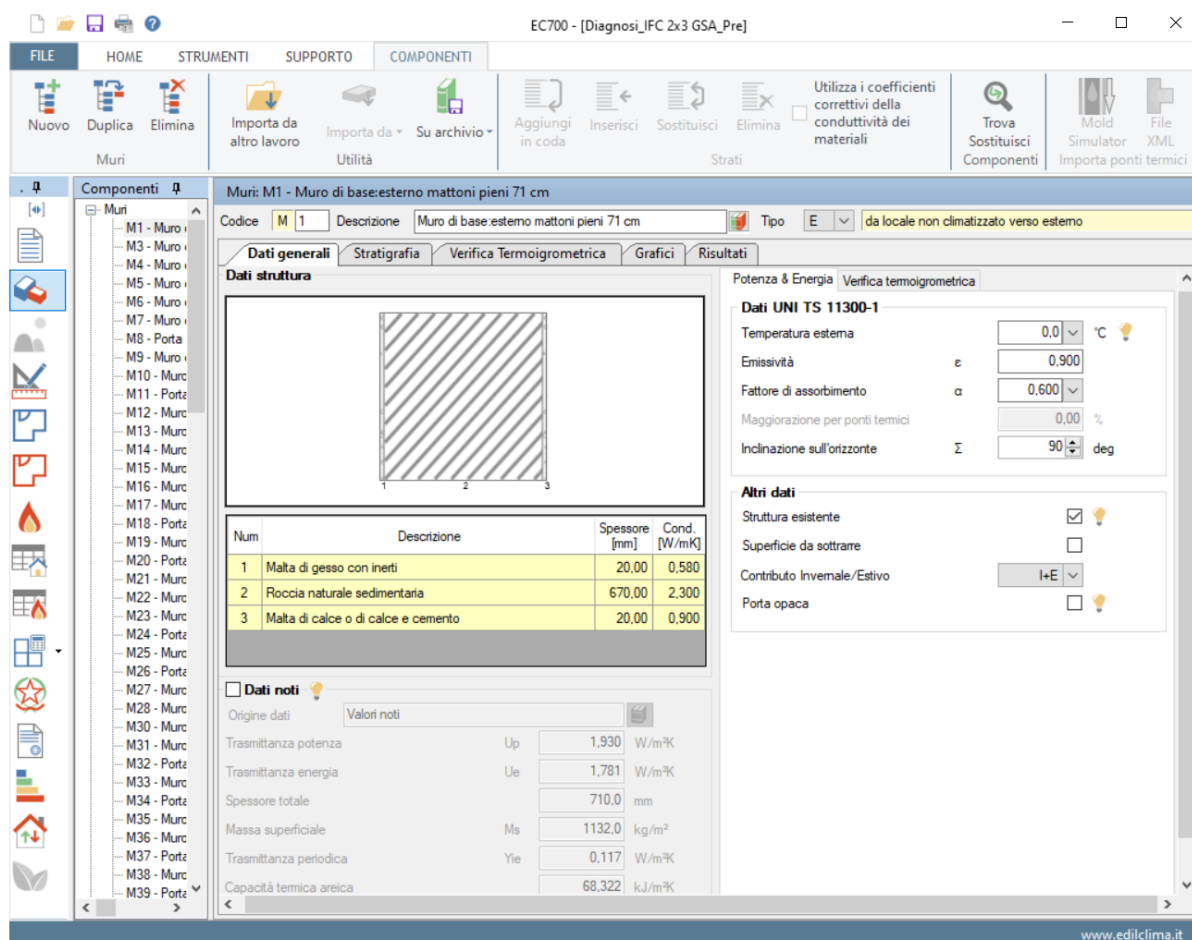
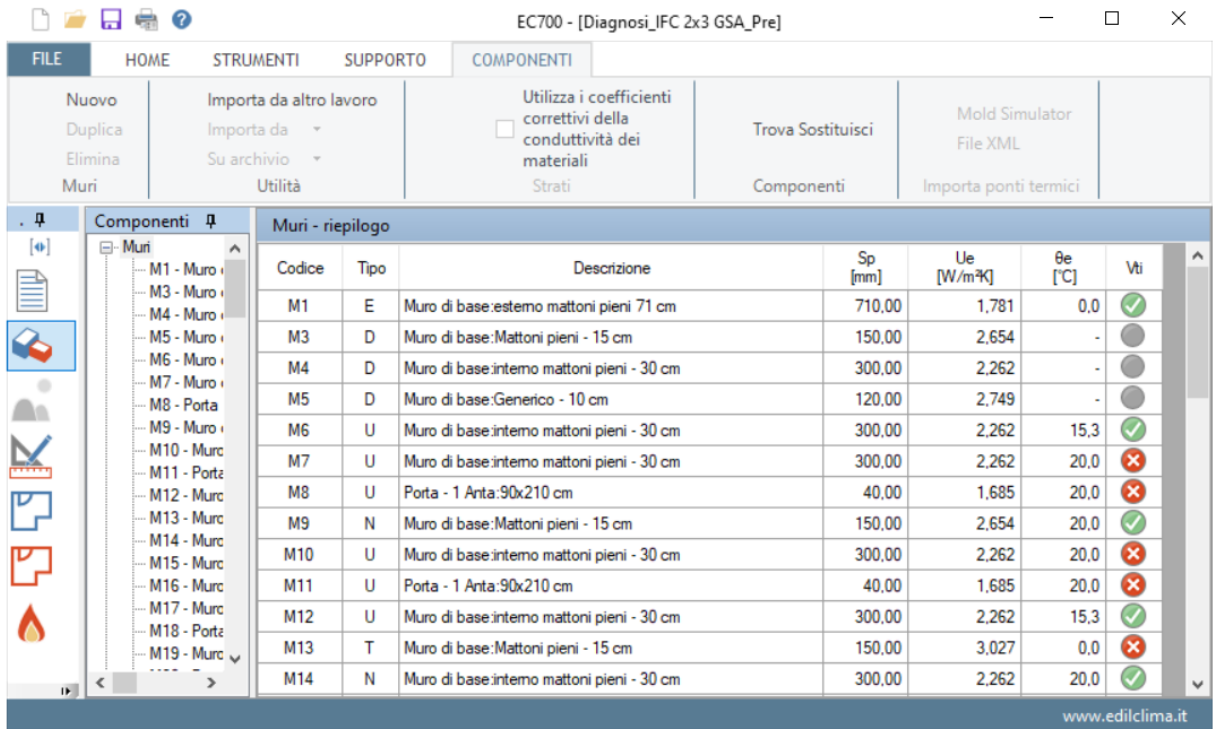


Figura 5.35 – Scheda “Dati generali”, maschera “Componenti involucro” (Muro)

Alla scheda “Verifica termoigrometrica” è possibile vedere il confronto dei fattori di temperatura al fine del compimento della verifica di criticità di condensa superficiale e del rischio di condensa interstiziale.

Selezionando, nell’albero di navigazione, l’intera categoria “Muri”, EC700 mostra un riepilogo, nel quale compare il codice identificativo del muro, il tipo, la descrizione, lo spessore, la trasmittanza termica in $\text{W/m}^2\text{K}$, la temperatura esterna invernale in $^{\circ}\text{C}$ e la risposta della verifica termoigrometrica (Figura 5.36).



EC700 - [Diagnosi_IFC 2x3 GSA_Pre]

FILE HOME STRUMENTI SUPPORTO COMPONENTI

Nuovo
Duplica
Elimina
Muri

Importa da altro lavoro
Importa da
Su archivio
Utilità

☐ Utilizza i coefficienti correttivi della conduttività dei materiali
Strati

Trova Sostituisci
Componenti

Mold Simulator
File XML
Importa ponti termici

Componenti

Muri - riepilogo

Codice	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ue [W/m²K]	θe [°C]	Vi
M1	E	Muro di base:esterno mattoni pieni 71 cm	710,00	1,781	0,0	✓
M3	D	Muro di base:Mattoni pieni - 15 cm	150,00	2,654	-	✓
M4	D	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	-	✓
M5	D	Muro di base:Generico - 10 cm	120,00	2,749	-	✓
M6	U	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	15,3	✓
M7	U	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	20,0	✗
M8	U	Porta - 1 Anta:90x210 cm	40,00	1,685	20,0	✗
M9	N	Muro di base:Mattoni pieni - 15 cm	150,00	2,654	20,0	✓
M10	U	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	20,0	✗
M11	U	Porta - 1 Anta:90x210 cm	40,00	1,685	20,0	✗
M12	U	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	15,3	✓
M13	T	Muro di base:Mattoni pieni - 15 cm	150,00	3,027	0,0	✗
M14	N	Muro di base:interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	20,0	✓

www.edilclima.it

Figura 5.36 – riepilogo Muri, maschera “Componenti involucro”

Le schede sono le medesime anche per i componenti “Pavimenti” e “Soffitti” e si è pertanto svolta una procedura analoga a quella svolta per i “Muri”.

5.2.1.1 Porte opache

Le porte non finestrate, come quelle di entrata delle singole unità abitative, essendo, in Revit, famiglie, e quindi file esterni al progetto principale, non possedevano una stratigrafia, poiché EC700 è incapace di leggere l’informazione ad essa relativa. È stato pertanto necessario inserire in questa fase del lavoro la stratigrafia corrispondente a questa tipologia di porte.

Nella scheda “Stratigrafia” si è selezionato il materiale “e1101 - Legno di abete flusso perpendicolare alle fibre” e si è inserito uno spessore di 40 mm (Figura 5.37).

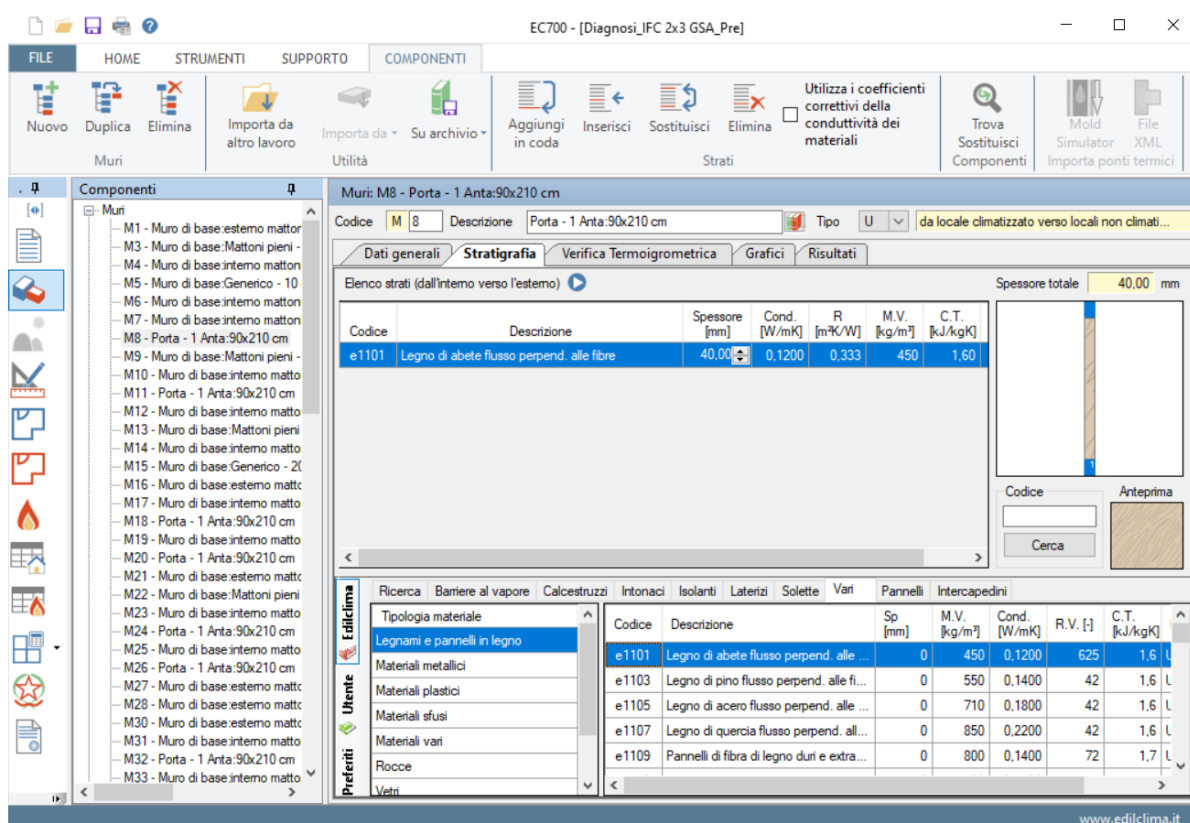


Figura 5.37 – Inserimento stratigrafia porta opaca

5.2.1.2 Accorgimenti per la realizzazione del modello

Dopo aver preso visione della maschera “Componenti involucro”, per quanto riguarda muri, solai e soffitti, è stato necessario compiere alcune correzioni al modello realizzato in Revit. Può risultare intuitivo pensare infatti che, quando un unico muro era composto da più tipi, esso doveva venire suddiviso correttamente in modo che ogni sua porzione costituisse un tipo diverso. Un esempio facilmente illustrabile è quello del muro che delimita il vano scale (vano non riscaldato), il quale è anche il muro divisorio di due appartamenti (ovvero due zone climatizzate). (Figura 5.38)

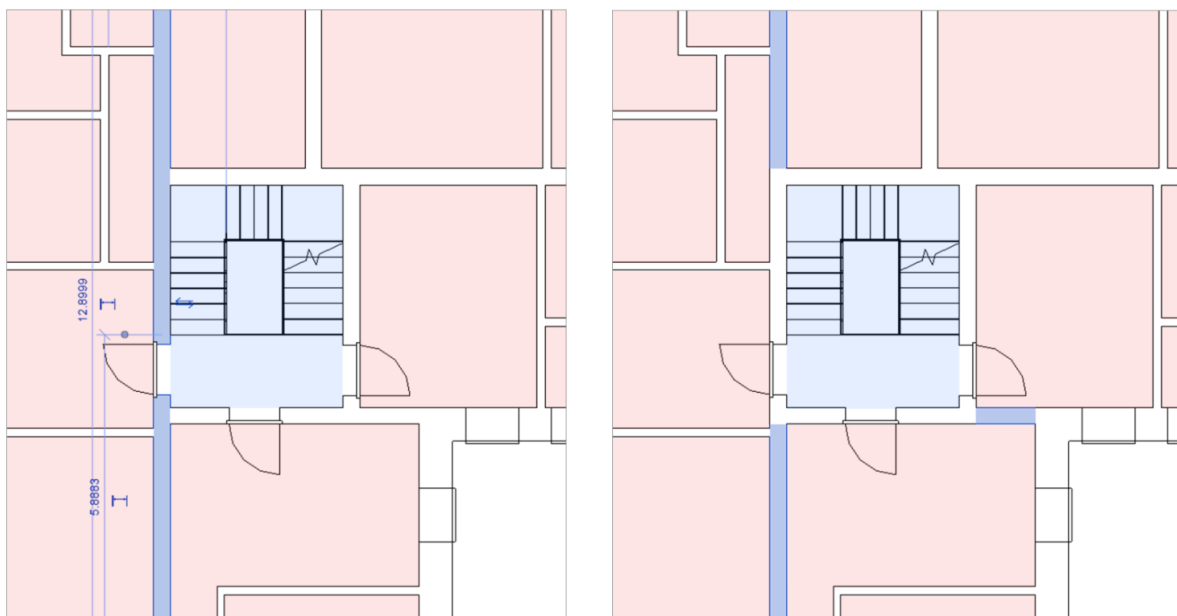


Figura 5.38 – Muri vano scala prima (a sinistra) e dopo (a destra)

L'operazione di divisione degli elementi architettonici in più parti è stato necessario compierla anche nel caso dei solai. Il solaio interpiano tra il piano terra e il piano primo è stato eliminato e rimodellato nella porzione soprastante all'atrio d'ingresso dell'edificio, in cui non vi è climatizzazione.

Così facendo è stato possibile assegnare il tipo di muro, o di pavimento, corretto per ogni elemento, suddividendo quindi il tipo U dal tipo E.

5.2.2 Ponti termici

I ponti termici, non essendo importabili da Revit in EC700 senza plug-in, è stato necessario crearli in questa maschera. Selezionando la casella "Nuovo" nella barra multifunzione, è stato necessario assegnare al ponte termico la descrizione e si è aperta una scheda denominata "Dati generali" nella quale si è dovuto selezionare il metodo per il calcolo del ponte termico.

Per la configurazione del ponte termico si è scelto di utilizzare il software EC709, modulo di EC700, tramite il quale è stata selezionata la tipologia di ponte termico, tra quelle previste dalla norma UNI EN ISO 14683, e la posizione dell'isolante; nel caso dell'edificio analizzato l'isolamento non è mai presente. Sono state poi selezionate le strutture coinvolte nel ponte termico, le quali, a seconda della posizione, potevano essere due muri o un muro e un solaio, e alcuni dati di ingressi per il calcolo, i quali, a seconda della tipologia di ponte termico potevano essere: gli spessori delle strutture, la trasmittanza termica del solaio e le conduttività delle strutture coinvolte.

Per la verifica del rischio di formazione muffa è stata selezionata una classe di concentrazione del vapore per edifici con indice di affollamento non noto, pari a 0,06, una temperatura interna nel periodo di riscaldamento si 20°C e un'umidità relativa superficiale ammissibile dell'80%. Si è scelto di eseguire il calcolo con le temperature medie mensili (Figura 5.39).

EC709 - [GF - Parete - Solaio rialzato] - GF12b

Strutture coinvolte

Parete verticale (T) M16 ☐ Visualizza tutti

Pavimento (U) P2 ☐ Visualizza tutti

Elenco strati (dall'interno verso l'esterno)

Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Malta di gesso con inerti	20,00	0,580
2	Roccia naturale sedimentaria	670,00	2,300
3	Malta di calce o di calce e cemento	20,00	0,900

Trasmittanza U - Energia 1,781 W/m²K

Dati di ingresso

Conduttività termica muro 2 $\lambda_{mur,2}$ 2,300 W/mK

Coeff. correzione temperatura b_{tr} 0,80 -

Spessore solaio S_{sol} 210 mm

Spessore muro S_{mur} 500 mm

Conduttività termica muro 1 $\lambda_{mur,1}$ 2,300 W/mK

Elenco strati (dall'alto verso il basso)

Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	30,00	1,300
2	C.I.s. armato (1% acciaio)	210,00	2,300
3	Malta di calce o di calce e cemento	30,00	0,900

Trasmittanza U - Energia 2,050 W/m²K

Coeff. correzione temperatura ($b_{tr,u}$) 0,43

Risultati

Trasmittanza termica lineica di riferimento -1,563 W/mK

Trasmittanza termica lineica di calcolo -0,781 W/mK

Fattore di temperatura (f_{rsi}) 0,426 -

☒ **Verifica rischio muffa**

Condizioni interne

☐ Umidità relativa interna costante 60 % + 5%

☒ Classe concentrazione del vapore 0,006 kg/m³

Temperatura interna periodo di riscaldamento 20,0 °C

Umidità relativa superficiale ammissibile 80 %

Temperature esterne

☒ Medie mensili ☐ Media annuale ☐ Fissa impostata

Mese	θ_i [°C]	θ_{e1} [°C]	θ_{e2} [°C]	θ_{acc} [°C]
ottobre	18,6	18,6	18,6	16,0
novembre	20,0	14,6	16,9	15,1
dicembre	20,0	12,0	15,4	13,9
gennaio	20,0	12,3	15,6	15,1
febbraio	20,0	12,4	15,6	13,4
marzo	20,0	12,9	15,9	13,5
aprile	20,0	16,2	17,8	15,3

Diagrammi

Schema del ponte termico con i parametri $\lambda_{mur,1}$, $\lambda_{mur,2}$, S_{sol} , S_{mur} , b_{tr} e U_{sol} .

Visualizzazione termica del ponte termico.

<< Indietro Avanti >> OK Annulla

Figura 5.39 – Configurazione ponte termico con EC709

A questo punto nella scheda “Dati generali” si è compilata in automatico la sezione sui dati del ponte termico, contenente la tipologia, la trasmittanza termica lineica di calcolo, il riferimento normativo, il risultato della verifica di formazione di muffa e le immagini schematiche del ponte termico (Figura 5.40).

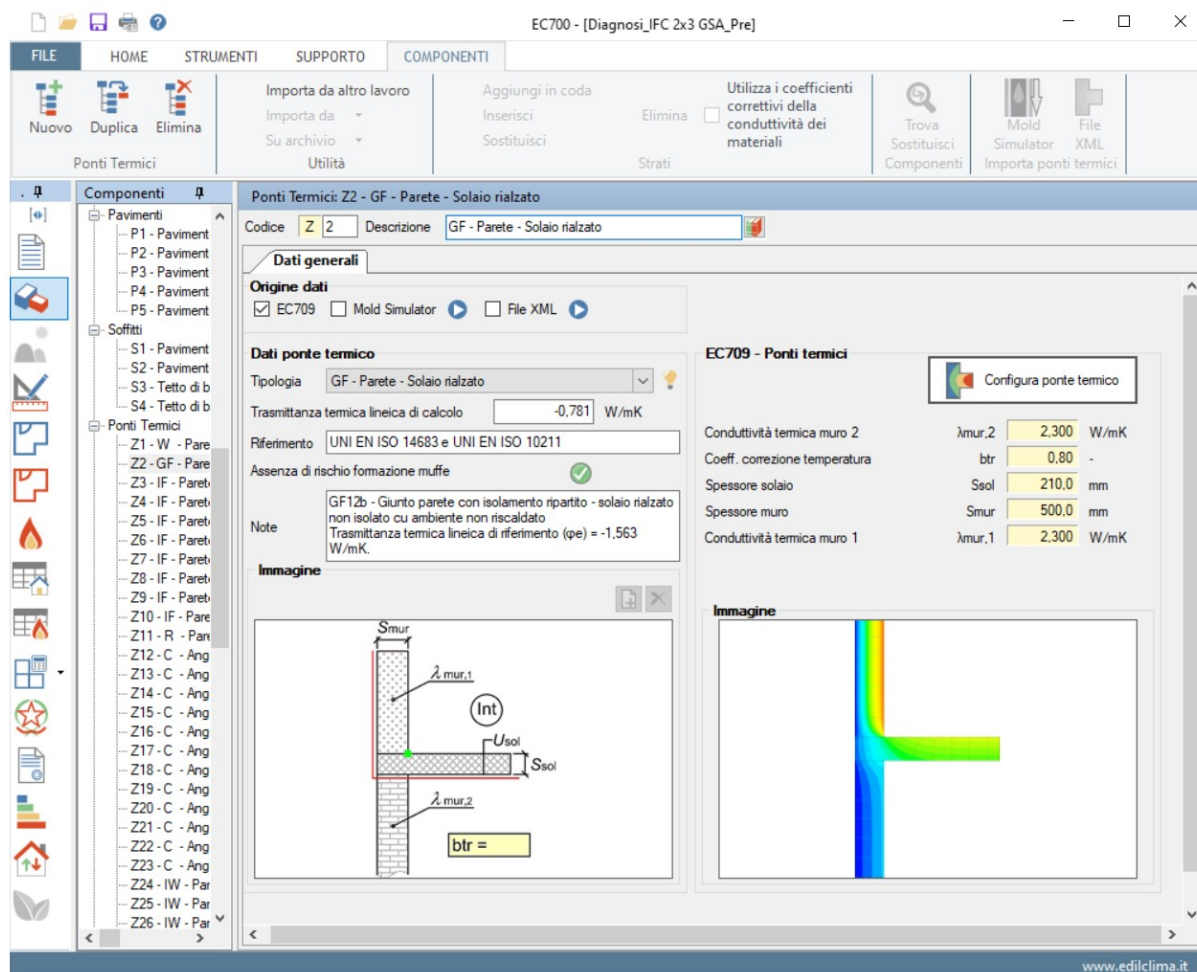


Figura 5.40 – Scheda “Dati generali”, maschera “Componenti involucro” (Ponti termici)

I ponti termici realizzati sono: il ponte termico che si forma tra la parete e il telaio di tutti gli infissi presenti nell’edificio, i ponti termici parete-solaio interpiano, i ponti termici tra le pareti e la copertura, i ponti termici negli angoli delle pareti, sia sporgenti che rientranti. Non sono stati realizzati i ponti termici che si formano all’intersezione tra le pareti esterne e le pareti interne poiché considerati trascurabili.

Se si seleziona l’intera categoria di ponti termici viene mostrato il riepilogo di quelli che sono stati realizzati, nel quale compare il codice, la descrizione e la trasmittanza termica lineica in W/mK.

5.2.3 Componenti finestrati

Per la caratterizzazione dei componenti finestrati è stato necessario andare a compilare le schede presenti nella maschera “Componenti involucro”. Anche per i componenti finestrati hanno un tipo che li caratterizza in base ai vani adiacenti ad esso: da locale climatizzato verso esterno (T), da locale climatizzato verso locali non climatizzati (U), da locale climatizzato verso locali vicini (N), da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa (A) e da locale non

climatizzato verso esterno (E); il tipo, come per i componenti opachi, viene ereditato da Revit.

In questo caso è stato necessario differenziare alcuni dati a seconda dell'ipotesi di infissi che si supponeva fossero presenti. Per l'ipotesi 1 sono stati perciò inseriti i dati relativi agli infissi in alluminio, mentre per le ipotesi 2 e 3 sono stati inseriti i dati relativi agli infissi in PVC. Nella sezione "Dati serramento" si è inserito il dato relativo alla resistenza termica delle chiusure: per le finestre in alluminio si è selezionato 0,15, corrispondente proprio al materiale alluminio e a una bassa permeabilità all'aria; per l'ipotesi con le finestre in PVC è stato selezionato 0,22, ovvero corrispondente alle chiusure avvolgibili in legno o plastica senza riempimento di schiuma, con bassa permeabilità all'aria. Sono stati poi inseriti: la temperatura esterna, pari a 0,0 °C, l'emissività, 0,837, il fattore di trasmittanza solare relativo a una finestra con doppio vetro normale, ovvero 0,750, il fattore tendaggi, pari a 1 e l'inclinazione sull'orizzonte, di 90°. È stato specificato anche per i componenti finestrati che si tratta di una struttura esistente (Figura 5.41).

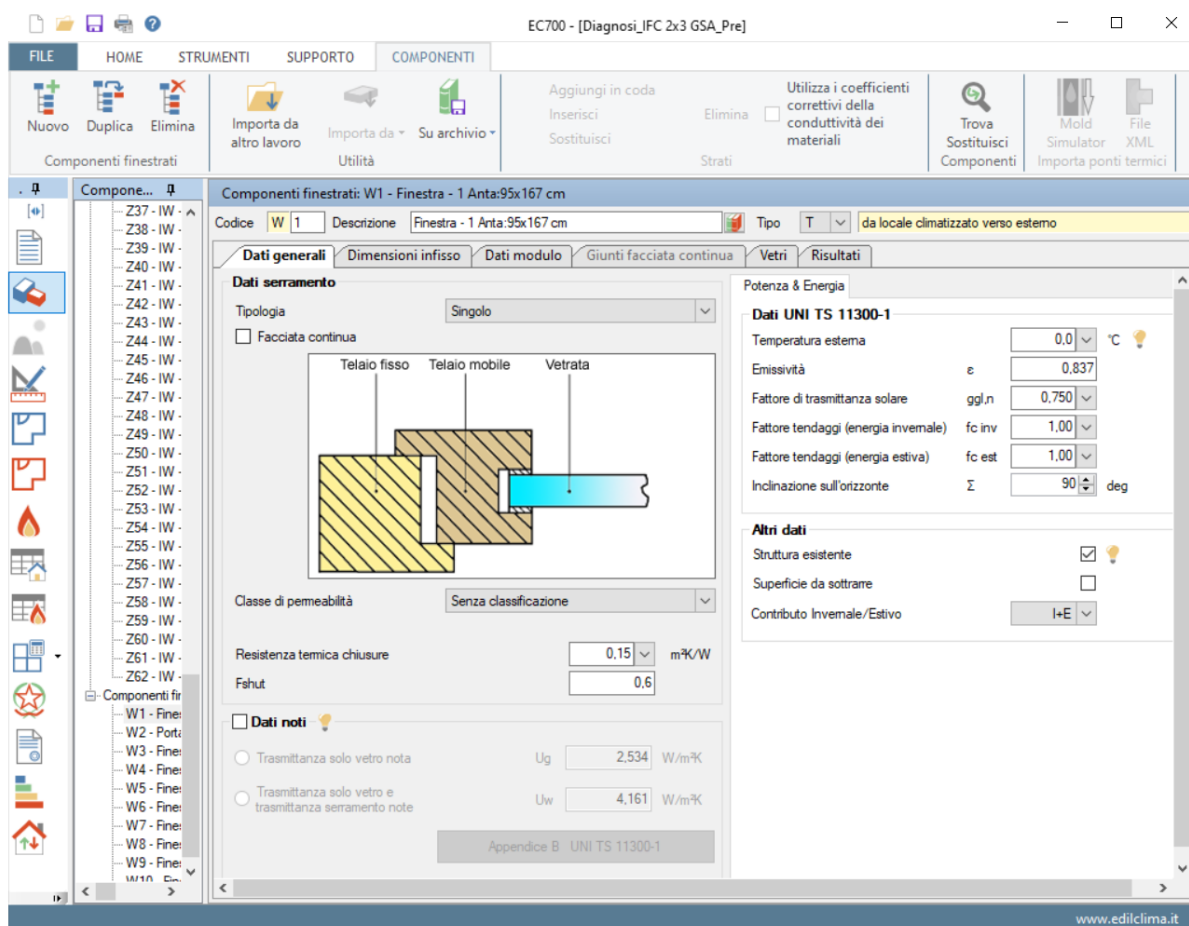


Figura 5.41 – Scheda "Dati generali", maschera "Componenti involucro" (Componenti finestrati)

Nella scheda "Dimensioni infisso" è stato possibile inserire le dimensioni del telaio e la sua trasmittanza termica. Quest'ultima, per ogni finestra si è inserita pari a 7 nell'ipotesi di telaio metallico senza taglio termico, e di 1,2, corrispondente al telaio in PVC con cinque camere

cave, nell'ipotesi di telaio in PVC. In questa scheda, le dimensioni globali della finestra sono già compilate, poiché questi dati vengono ricevuti correttamente dal file IFC, e quindi da Revit.

Nella scheda "Dati modulo" è stata spuntata la voce "Ponte termico" ed è stato assegnato quindi, a tutti gli infissi presenti, il ponte termico creato precedentemente.

Nella scheda "Vetri" si sono inseriti i dati relativi alla tipologia di vetro presente negli infissi. Tutte le finestre hanno un doppio vetro, ogni lastra ha uno spessore di 4 mm e una conducibilità termica di 1 W/mK. Per la prima ipotesi di serramenti, la resistenza dell'intercapedine è stata scelta di 0,173 m²K/W, corrispondente a uno spessore di 12 mm con entrambe le superfici non trattate, mentre la trasmittanza dell'intercapedine si è ipotizzata di 0,02 W/mK (telaio metallico senza taglio termico, 2/3 vetri standard). Per l'ipotesi di serramenti con telaio in PVC si è selezionata una resistenza di 0,247 m²K/W e una trasmittanza di 0,08 W/mK (telaio in plastica, 2/3 vetri a bassa emissività).

Si ritiene importante specificare che avendo esportato le porte finestrate con i parametri IFC *IfcExportAs* e *IfcExportType* corrispondenti rispettivamente a "IfcWindow" e "WINDOW", esse si sono esportate effettivamente come elementi finestre e per questo sono rientrate nella categoria "Componenti finestrati" e non in quella "Muri" (Figura 5.42). In questo modo è stato possibile assegnare i ponti termici anche alle porte esterne, oltre che alle finestre.



Figura 5.42 – Componenti finestrati

5.3 Maschera Input grafico

Alla maschera "Input grafico" è possibile vedere la geometria dell'edificio importato tramite file IFC, come già mostrato al Paragrafo 3.1 di questo capitolo. In questo caso, dato che la geometria è stata importata tramite file IFC e non è quindi necessario modellarla, la funzione principale di questa maschera è quella del calcolo automatico degli ombreggiamenti e dell'inserimento dei ponti termici.

5.3.1 Calcolo automatico ombreggiamenti

Per il calcolo automatico degli ombreggiamenti è necessario anzitutto realizzare gli ingombri circostanti all'edificio. Per farlo, nella sezione "ombreggiamenti" della barra

multifunzione è possibile inserire la mappa del luogo circostante, alla voce “Mappe” e successivamente utilizzare la funzione “Edifici vicini” che permette la realizzazione di un prisma della forma che si desidera. Sono presenti anche la funzione “Alberi”, che consente di disegnare dei cilindri del diametro definito dall’utente, e “Balconi” per definire gli sporti dai muri. Con queste funzioni è possibile quindi arricchire il modello degli ingombri che producono ombra sull’edificio da analizzare. Successivamente si può utilizzare il comando “Calcola ombreggiamenti” e, se si desidera, anche visualizzare gli ombreggiamenti per ogni elemento (Figura 5.43).

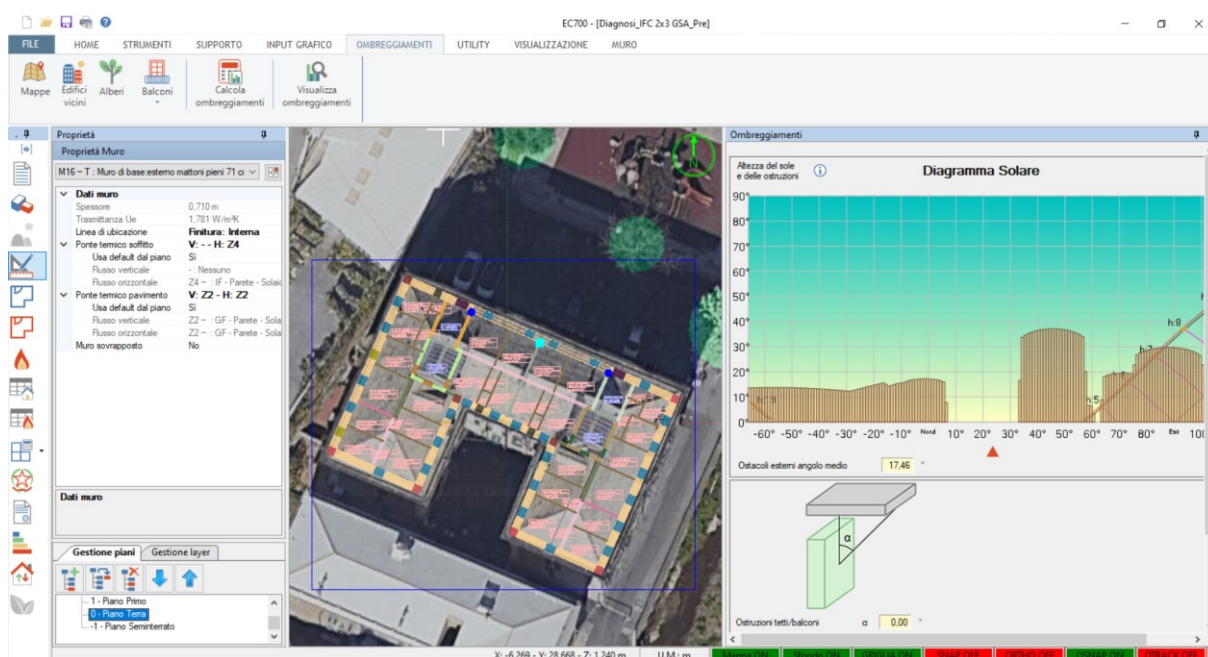


Figura 5.43 – Maschera “Input grafico”, calcolo automatico degli ombreggiamenti

È importante sottolineare il fatto che, tramite il file IFC importato, un’informazione che viene trasmessa in EC700 è quella dell’orientamento dell’edificio. Il nord reale impostato in Revit in fase preliminare di realizzazione del modello viene infatti mantenuto in questo software.

5.3.2 Assegnazione ponti termici

Per l’inserimento dei ponti termici all’interno del progetto, non è sufficiente la loro creazione e definizione alla maschera “Componenti involucro”, ma è necessario inserirli anche in questa maschera.

I ponti termici orizzontali, ovvero quelli del solaio del piano terra, dei solai interpiano e quello sulla copertura si possono assegnare all’intero piano, se sono uguali per tutti i muri, o ai singoli muri, se per esempio questi hanno spessori diversi. I ponti termici verticali si inseriscono con la funzione “Pilastri” alla sezione “Input grafico” della barra multifunzione. Inserito un pilastro gli si può attribuire il ponte termico che gli corrisponde.

Con questa modalità si sono inseriti tutti i ponti termici creati e caratterizzati alla maschera “Componenti involucro”.

Affinché tutte le modifiche apportate in questa maschera vengano memorizzate è necessario che venga utilizzata la funzione *Esporta* → *Esportazione completa* nella sezione “Input grafico” della barra multifunzione. In questo modo è possibile proseguire con l’analisi.

5.4 Maschera Serre/Locali non climatizzati

All’apertura della maschera “Serre/Locali non climatizzati” compare il riepilogo dei vani non climatizzati presenti dell’edificio, e per ognuno di essi viene indicata la superficie utile, in m^2 , il volume netto, in m^3 e il $b_{tr,u}$, ovvero il coefficiente di correzione dell’energia che viene dispersa per trasmissione e ventilazione; esso è diverso da 1 quando la temperatura dell’ambiente non riscaldato è diversa da quella dell’ambiente esterno.

Se si selezionano i singoli ambienti si apre la scheda “Strutture disperdenti”, nella quale compaiono le caratteristiche dimensionali del vano, ricavate dall’importazione del file IFC, e l’elenco delle strutture che circondano l’ambiente selezionato. Per ognuna di queste strutture viene specificata la superficie e la presenza o meno di eventuali ombreggiamenti su di esse.

5.5 Maschera Zone/Locali climatizzati

Anche nella maschera “Zone/Locali climatizzati” si presenta il riepilogo delle zone climatizzate presenti nell’edificio, comprendente della superficie netta in pianta, in m^2 , il volume lordo, in m^3 , la superficie lorda delle strutture disperdenti verso l’esterno o verso gli ambienti non climatizzati, in m^2 e il rapporto di forma tra la superficie disperdente e il volume.

È possibile selezionare un’intera zona o il singolo vano ad essa appartenente. Se si seleziona la zona compaiono i dati relativi ad essa: la categoria, gli apporti interni, le caratteristiche dimensionali, capacità termica e il fattore di ripresa; quest’ultimo nel caso in cui il riscaldamento all’interno della zona sia a intermittenza.

Per il singolo vano i dati riportati sono le caratteristiche dimensionali, anche in questo caso ereditate dal file IFC, la temperatura interna nelle varie stagioni, la ventilazione e i ricambi d’aria di riferimento. È possibile, anche per i vani climatizzati, consultare il riepilogo delle strutture disperdenti, comprensive di muri, finestre e anche ponti termici. Per ogni struttura viene riportata anche la trasmittanza U (trasmittanza lineica nel caso dei ponti termici) e la dispersione per trasmissione ϕ .

5.6 Maschera Impianti

In EC700 si crea automaticamente un impianto per ogni zona termica. È necessario, per questo motivo, che, in Revit, vengano create le zone termiche corrispondenti alle dimensioni dei singoli impianti autonomi. Per questo motivo sono state create tante zone termiche quante unità abitative. Sono stati selezionati poi i servizi energetici per ogni impianto ovvero

riscaldamento e acqua calda sanitaria.

Non conoscendo le caratteristiche degli impianti presenti nell'edificio è stato necessario, come anticipato, fare due ipotesi, una con degli impianti relativamente scadenti e un'altra con degli impianti più prestanti. Le differenze tra le due ipotesi di impianti poco prestanti e prestanti sono riassunte in Tabella 5.6.

Tabella 5.6 – Differenze nelle caratteristiche degli impianti per ipotesi 1, 2 e 3

Caratteristica impianto	Ipotesi 1 e 2	Ipotesi 3
Potenza nominale corpi scaldanti	5530 W	6323 W
Tipo di regolazione	Manuale (solo termostato di caldaia)	Solo di zone
Rendimento di regolazione	95%	97%
Isolamento tubazioni	Scadente o inesistente	Secondo DPR 412/93
Caldaia	VAILLANT/VM atmo BLOCK plus/VM 240/3-5	IMMERGAS/MINI EOLO/MINI EOLO 24
Potenza nominale al focolare	26,70 kW	25,60 kW

5.7 Risultati fabbricato

Per visionare i risultati riguardanti la potenza dispersa e i consumi dell'edificio si deve accedere alla maschera "Risultati fabbricato". All'interno della scheda "Potenza invernale" vengono restituiti i risultati relativi alla potenza dispersa per trasmissione e ventilazione, relativamente a ogni vano presente nell'edificio ma anche il totale per l'intero fabbricato. Nel caso presente. È anche possibile vedere i risultati delle dispersioni per componente o per orientamento dell'edificio.

I risultati delle dispersioni totali del fabbricato vengono riassunti in Tabella 5.7:

Tabella 5.7 – Risultati potenza dispersa

Potenza dispersa per trasmissione	127.509 W
Potenza dispersa per ventilazione	18.446 W
Potenza totale	145.955 W

Alle maschere successive vengono restituiti i risultati del bilancio energetico per la stagione invernale, dal 1° novembre al 15 aprile, e per la stagione estiva, dal 16 aprile al 31 ottobre.

Per la stagione invernale si fa riferimento alla Tabella 5.8:

Tabella 5.8 – Energia invernale

Mese	$\theta_{e,m}$ [°C] *	$Q_{h,ht}$ [kWh] **	Q_{gn} [kWh] ***	$Q_{h,nd}$ [kWh] ****
Novembre	13,3	29.087	9.317	19.843
Dicembre	10,0	45.371	9.059	36.324
Gennaio	10,4	42.799	9.047	33.766
Febbraio	10,5	36.405	9.603	26.843
Marzo	11,1	34.658	11.975	22.822
Aprile (15 gg)	14,4	8.476	6.328	2.939

* Temperatura esterna media

** Totale energia dispersa

*** Totale apporti gratuiti

**** Energia utile per il riscaldamento invernale

Per cui, infine, si ottiene un consumo specifico di 87,52 kWh/m².

Per la stagione estiva si fa riferimento invece alla Tabella 5.9:

Tabella 5.9 – Energia estiva

Mese	$\theta_{e,m}$ [°C] *	$Q_{h,ht}$ [kWh] **	Q_{gn} [kWh] ***	$Q_{c,nd}$ [kWh] ****
Aprile (15 gg)	16,2	17.255	6.328	1
Maggio	18,7	22.683	14.043	286

Giugno	22,4	4.684	14.330	9.697
Luglio	24,6	-5.816	15.605	21.421
Agosto	23,6	982	14.760	13.778
Settembre	22,2	11.771	11.961	1.967
Ottobre	18,2	32.603	10.842	1

* Temperatura esterna media

** Totale energia dispersa

*** Totale apporti gratuiti

**** Energia utile per il raffrescamento estivo

Ottenendo, in questo modo, un consumo specifico totale di 28,95 kWh/m².

5.8 Maschera Attestati energetici

Alla maschera attestati energetici vengono restituiti i risultati di $EP_{gl,nren}$, sia per l'intero edificio che per ogni zona climatizzata, e la classe energetica di appartenenza.

Si riassumono ora i risultati (Tabella 5.10) delle tre ipotesi illustrate precedentemente (Paragrafo 5 di questo capitolo):

Tabella 5.10 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (stato di fatto)

Ipotesi	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m ² anno]	Classe energetica
1	175,33	G
2	163,28	F
3	135,05	F

Come accennato, si è deciso di trascurare i ponti termici verticali che si formano nell'intersezione della parete esterna con le pareti interne. È stato infatti calcolato il valore di $EP_{gl,nren}$ che risulta comprendendoli nel calcolo e non si discosta in modo significativo dal valore ricavato senza computarli. Inserendo i ponti termici verticali in ogni intersezione tra pareti, infatti, il risultato di $EP_{gl,nren}$ è 177,25 kWh/m²anno. Si è ritenuto irrisoria la differenza tra i due valori e si è deciso pertanto di ignorare questo tipo di ponte termico.

5.9 Maschera Interventi migliorativi

Il miglioramento delle prestazioni energetiche dovuto agli interventi migliorativi ipotizzati su questo edificio è stato calcolato in due modi: aggiungendo uno strato di isolante in EC700 e ripetendo il calcolo oppure tramite la maschera “Interventi migliorativi”.

All'interno di questa maschera si è creato un nuovo scenario: alla sezione “Interventi sull'involucro edilizio” sono stati selezionati gli interventi “Realizzazione cappotto esterno” e “Coibentazione solaio confinante verso ambiente non climatizzato”, ovvero il sottotetto. A questo punto, alla sezione “Fabbricato” è necessario inserire gli interventi. Per ogni intervento che si inserisce si seleziona la struttura coinvolta, quindi un muro per il cappotto esterno e il solaio confinante con il sottotetto per la coibentazione, e si seleziona, dall'archivio materiali di Edilclima o Utente, sezione “Isolanti”, il materiale con il quale si vuole realizzare l'opera, e lo spessore (Figura 5.44).

The screenshot displays the 'Interventi migliorativi' software interface. The main window is titled 'EC700 - [Diagnosi_IFC 2x3 GSA_Post_Intervento migliorativo]'. The 'INTERVENTI MIGLIORATIVI' tab is active, showing a list of interventions under the 'Fabbricato' (Building) section. The list includes five entries for 'Realizzazione cappotto esterno' with associated costs. Below the list, the details for the selected intervention (Intervento 1) are shown, including the structure (M21 - Muro di base esterno mattoni pieni ...), surface area (219.39 m²), initial transmittance (1.946 W/m²K), and the proposed insulation (Pannelli in poliuretano 40 kg/m³, 120.00 mm thick). The total transmittance is 0.188 W/m²K, and the total thickness is 730.00 mm. The 'Ponti Termici' (Thermal Bridges) section is also visible, showing the method (forfettario) and a value of 100.0. A compass rose is present on the right side of the interface.

Nr.	Descrizione	Costo intervento [€]	
1	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	9214.38	✓
2	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	5050.92	✓
3	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	5038.74	✓
4	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	14299.32	✓
5	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	9295.02	✓
6	Realizzazione cappotto esterno - 6A_00_01:373679	14204.20	✓

Figura 5.44 – Maschera “Interventi migliorativi”, scheda “Fabbricato”

Per il cappotto esterno si è ipotizzato di utilizzare dei pannelli in poliuretano di densità 40 kg/m³, di spessore 12 cm, mentre per la coibentazione del sottotetto lo spessore ipotizzato è di 14 cm.

Si ritiene opportuno ricordare che l'intervento di realizzazione del cappotto esterno non interessa il piano terra; al momento dell'inserimento delle strutture soggette a questo tipo di intervento non sono stati infatti inseriti i muri di questo piano.

Con questo metodo si sono ricavati quindi i tre risultati (Tabella 5.11) corrispondenti alle tre ipotesi:

Tabella 5.11 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (post interventi migliorativi)

Ipotesi	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m ² anno]	Classe energetica
1	83,66	D
2	70,51	D
3	56,48	C

Si nota come per tutte e tre le ipotesi previste si ha il salto di due classi energetiche.

5.10 Inserimento isolante in EC700

Il secondo metodo per calcolare il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio è quello di inserire uno strato di isolante alle strutture presenti in EC700, alla maschera "Componenti involucro". Per la creazione del cappotto esterno in questo caso si è infatti tornati nella maschera "Componenti involucro" e si è aggiunto, alla scheda "Stratigrafia" uno strato di isolante ad ogni muro coinvolto. In questo caso, come isolante, si è scelto la "STIFERITE Class SK (sp. 120-200 mm)", presa dall'archivio Utente di SEINGIM.

Per l'isolamento del sottotetto si è invece scelta la "STIFERITE CLASS B" sempre dell'archivio Utente. Gli spessori sono rispettivamente di 12 cm per l'isolamento verticale e di 14 cm per quello del sottotetto.

I risultati in questo caso sono (Tabella 5.12):

Tabella 5.12 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (post inserimento strato isolante)

Ipotesi	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m ² anno]	Classe energetica
1	71,99	D
2	62,48	C
3	51,51	B

Anche in questo caso è garantito il salto di due classi energetiche per ognuna delle

5.11 Ipotesi di isolamento copertura

Dato che uno degli interventi previsti per l'edificio in esame è quello del rifacimento della copertura, si è eseguito il calcolo dello scenario in cui ad essere isolata è la copertura.

Essendo, l'inserimento dello strato isolante in "Componenti involucro" il metodo più corretto per il calcolo delle prestazioni energetiche, si è deciso di seguire solamente questo iter per il calcolo di questa ipotesi.

L'isolante utilizzato è il "Flatrock 50 Bond" presente nell'archivio Utente SEINGIM, di spessore 14 cm. In questo caso, i risultati dell'indice di prestazione energetica dell'edificio sono (Tabella 5.13):

Tabella 5.13 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (scenario isolamento copertura)

Ipotesi	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m ² anno]	Classe energetica
1	77,07	D
2	64,66	C
3	52,66	B

I valori risultanti dall'ipotesi dell'isolamento della copertura sono molto simili a quelli dello scenario dell'isolamento del sottotetto, e viene, anche in questo caso, assicurato il salto di due classi energetiche, per ogni ipotesi prevista.

Viene prediletto, pertanto, l'intervento di rifacimento della copertura con inserimento dello strato isolante.

6 IMPORTAZIONE IN EC700 TRAMITE EC770

Il plug-in EC770 creato da Edilclima per Revit permette l'assegnazione di ponti termici e ombreggiamenti direttamente dal software di authoring, evitando di doverli riassegnare una volta all'interno di EC700.

Affinché il software individui le strutture disperdenti del modello è necessario, anche in questo caso, inserire i locali o i vani tramite i corrispettivi comandi in Revit.

Installato il plug-in EC770, all'interno di Revit si creano automaticamente dei parametri di progetto, i quali vengono raggruppati nella sezione "Analisi energetica". I parametri per l'assegnazione dei ponti termici sono:

- EC PT soffitto flusso verticale: in questo caso il ponte termico viene assegnato

alla soletta che chiude superiormente il locale;

- EC PT soffitto flusso orizzontale: il ponte termico viene assegnato nella parte superiore della parete;
- EC PT pavimento flusso verticale: l'assegnazione del ponte termico avviene alla soletta che chiude inferiormente il locale;
- EC PT pavimento flusso orizzontale: il ponte termico è assegnato alla parte inferiore della parete.

Questi parametri sono parametri di istanza e vengono assegnati agli elementi muro. I parametri, invece, che vengono attribuiti agli infissi sono parametri di tipo e sono "EC PT infisso", "EC PT davanzale", "EC PT architrave".

Nel caso in cui il ponte termico sia verticale, è possibile inserirlo attraverso due modalità: se esso si trova in corrispondenza di un pilastro lo si potrà attribuire tramite il parametro "EC PT pilastro" che si crea sempre all'interno della categoria "Analisi energetica" attribuito agli elementi pilastro, altrimenti, se il ponte termico si forma per un altro tipo di discontinuità non individuabile da elementi pilastro, è possibile importare la famiglia di modelli generici, appositamente creata dal plug-in, tramite il comando *Moduli aggiuntivi → Edilclima → Strumenti → Carica famiglia PT verticali*.

Agli elementi architettonici presenti nel progetto viene anche attribuito un parametro per gli ombreggiamenti, denominato "EC ombreggiamento", da compilare necessariamente se si vuole assegnare un ombreggiamento, riconoscibile in EC700, a quel particolare elemento (Figura 5.45).

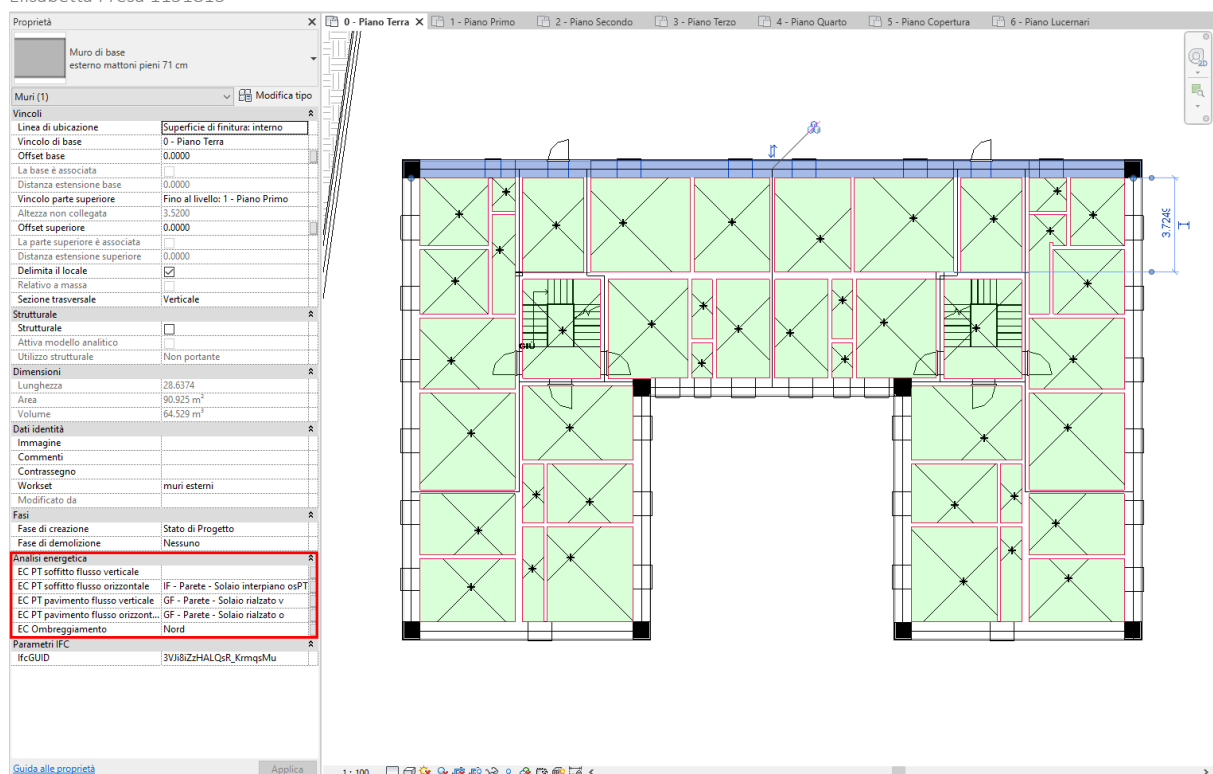


Figura 5.45 – Parametri per ponti termici e ombreggiamenti (EC770)

A tutti questi parametri, affinché ponti termici e ombreggiamenti vengano riportati in EC700, è necessario assegnare un nome, con il quale verranno poi identificati anche nel software di analisi; bisogna avere l'accortezza di assegnare a questi parametri dei nomi che permettono il riconoscimento dei singoli ponti termici.

Questo plug-in è l'unico mezzo che consente la mappatura di ponti termici e ombreggiamenti direttamente dal software di authoring. Non è possibile, pertanto, importare direttamente in EC700 elementi quali ponti termici e ombreggiamenti se non con questo iter e, di conseguenza, non è possibile questa importazione attraverso software di authoring che non sia Revit.

Il programma di destinazione, ovvero EC700, non legge, infatti, elementi come ponti termici e ombreggiamenti se non creati attraverso il plug-in; anche se si creano i medesimi parametri di progetto in Revit, e si assegnano loro dei nomi, essi non sono leggibili da EC700, in quanto lo strumento che permette la lettura di queste informazioni è proprio il plug-in per Revit EC770.

6.1 Assegnazione parametri

Essendo già presenti nel progetto vani e zone termiche, si è proceduto con l'assegnazione dei ponti termici e degli ombreggiamenti direttamente dal software di authoring.

Per l'assegnazione degli ombreggiamenti agli elementi dell'edificio, è stato assegnato il nome "edifici circostanti" al parametro "EC Ombreggiamento" a tutti gli elementi muro dei prospetti Est, Sud e Ovest dell'edificio; a Nord, non essendoci impedimenti non è stato inserito alcun ostacolo esterno. Gli ombreggiamenti, in questo prospetto saranno dati dall'orientamento dell'edificio.

6.1.1 Ponti termici

Il motivo per cui per ogni muro i parametri relativi ai ponti termici che si creano sono quattro e non due, ovvero il motivo della suddivisione in flusso verticale e flusso orizzontale, sta nel fatto che il Decreto Requisiti Minimi richiede la verifica della trasmittanza media del soffitto e del muro, pertanto, è necessario andare a stabilire su quale struttura grava il ponte termico. Il parametro "EC PT soffitto flusso verticale" serve infatti ad attribuire la dispersione al solaio che si interseca con il muro nella parte superiore di esso, mentre "EC PT pavimento flusso verticale" è il parametro per l'assegnazione del ponte termico al solaio che incontra il muro nella parte inferiore di esso. Per rendere il concetto più chiaro si presentano alcuni esempi.

Nel caso in cui si genera un ponte termico tra un muro e il soffitto, il ponte termico, secondo la norma UNI TS 11300-1, viene diviso equamente a metà tra le due strutture interessate. Si vanno infatti a individuare due dispersioni, una a flusso verticale che va a peggiorare la trasmittanza media (ψ) del soffitto, e l'altra a flusso orizzontale, che va a peggiorare la trasmittanza media del muro. Quindi, il fenomeno, pur essendo complessivo, si va a suddividere ai fini del calcolo nelle due strutture coinvolte, e la trasmittanza media viene anch'essa dimezzata e suddivisa tra muro e soffitto, in modo tale che il flusso termico complessivo corrisponda al prodotto tra la trasmittanza complessiva e la lunghezza del ponte termico (Figura 5.46).

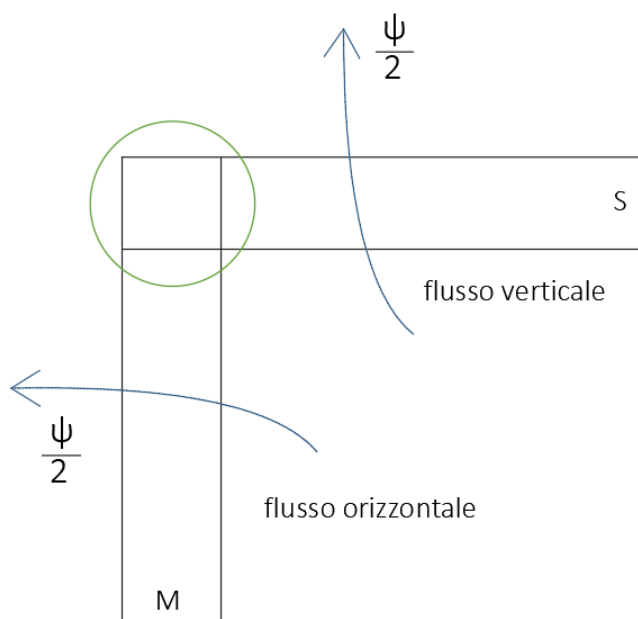


Figura 5.46 – Esempio ponte termico muro-solaio

Se si è in presenza di un solaio interpiano che divide due zone alla stessa temperatura, nella zona di incontro del solaio con il muro si genera un ponte termico dovuto alla discontinuità geometrica che si forma in quel punto. In questo caso, nel muro al di sopra del solaio interpiano si ha un flusso termico orizzontale a carico della trasmittanza media del muro. Analogamente nel muro inferiore si crea un altro flusso termico orizzontale. Il flusso termico verticale invece può essere omesso, in quanto non c'è differenza di temperatura tra la zona sopra e la zona sotto al solaio interpiano in questione. In conclusione, in presenza di un solaio interpiano si hanno solo due flussi orizzontali, che peggiorano le trasmittanze termiche dei due muri, del piano superiore e del piano inferiore. Anche in questo caso la trasmittanza termica lineica è dimezzata (Figura 5.47).¹⁰⁶

¹⁰⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=4A7hsiDZZFs>

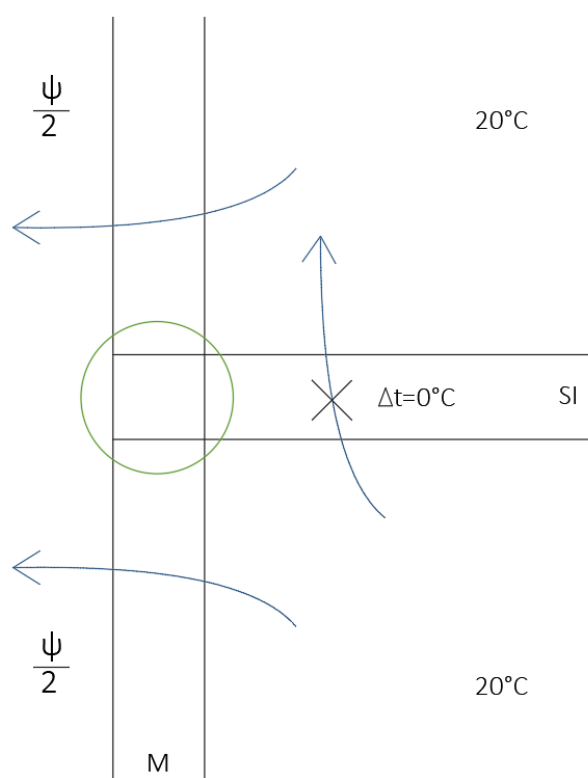


Figura 5.47 – Esempio ponte termico muro-solaio interpianto

I ponti termici che vengono assegnati in Revit alle strutture presenti nel modello sono:

- i ponti termici tra i muri e il pavimento del piano terra: il pavimento del piano terra separa una zona riscaldata da una non riscaldata, pertanto, in questo caso è stato assegnato sia il parametro “EC PT pavimento flusso orizzontale” sia “EC PT pavimento flusso verticale” ai muri del piano terra;
- i ponti termici tra i muri e i solai interpianto: in questo caso si è assegnato il parametro “EC PT soffitto flusso orizzontale” al muro al di sotto del solaio e “EC PT pavimento flusso orizzontale” al muro al di sopra del solaio;
- i ponti termici tra i muri e il solaio di copertura: l’ultimo solaio delimita la zona non riscaldata del sottotetto e quindi per questo ponte termico sono stati assegnati, ai muri del quarto piano, i parametri “EC PT soffitto flusso verticale” e “EC PT soffitto flusso orizzontale”;
- i ponti termici verticali: essi sono stati posizionati dove le pareti formano un angolo tra di esse, distinguendo quelli rientranti da quelli sporgenti. Non avendo inserito pilastro all’interno del progetto, è stata caricata la famiglia di modelli generici creata appositamente dal plug-in EC770. Si è deciso di trascurare i ponti termici verticali derivanti dall’incontro tra i muri esterni e le tramezze interne;
- I ponti termici degli infissi: a tutte le finestre è stato assegnato il ponte termico

“EC PT infisso”.

6.2 Vani

Completato, in Revit, il modello pronto all’esportazione, si svolge, tramite il comando *Moduli aggiuntivi* → *Edilclima* → *Parametri*, l’associazione dei locali o dei vani inseriti nel software.

Posizionando i vani in Revit, raggruppandoli in zone e assegnando loro nome e tipologia di climatizzazione, nella fase di associazione dei vani in EC770, vengono riconosciute le zone termiche create, i nomi dei vani e delle zone come assegnati in Revit, e anche il tipo di climatizzazione. Non è necessario, infatti, grazie al plug-in EC770, riassegnare ai vani non climatizzati la tipologia corretta di climatizzazione se questa è già stata correttamente attribuita in Revit. Tutti i vani non climatizzati vengono automaticamente raggruppati insieme nei “Locali non climatizzati”, mentre i vani climatizzati rimangono all’interno delle zone di appartenenza.

I vani non climatizzati creati in Revit, vanno mantenuti all’interno della zona “Default” che si crea, e non devono essere raggruppati in una zona creata dall’utente, come invece si era fatto per l’importazione tramite file IFC.

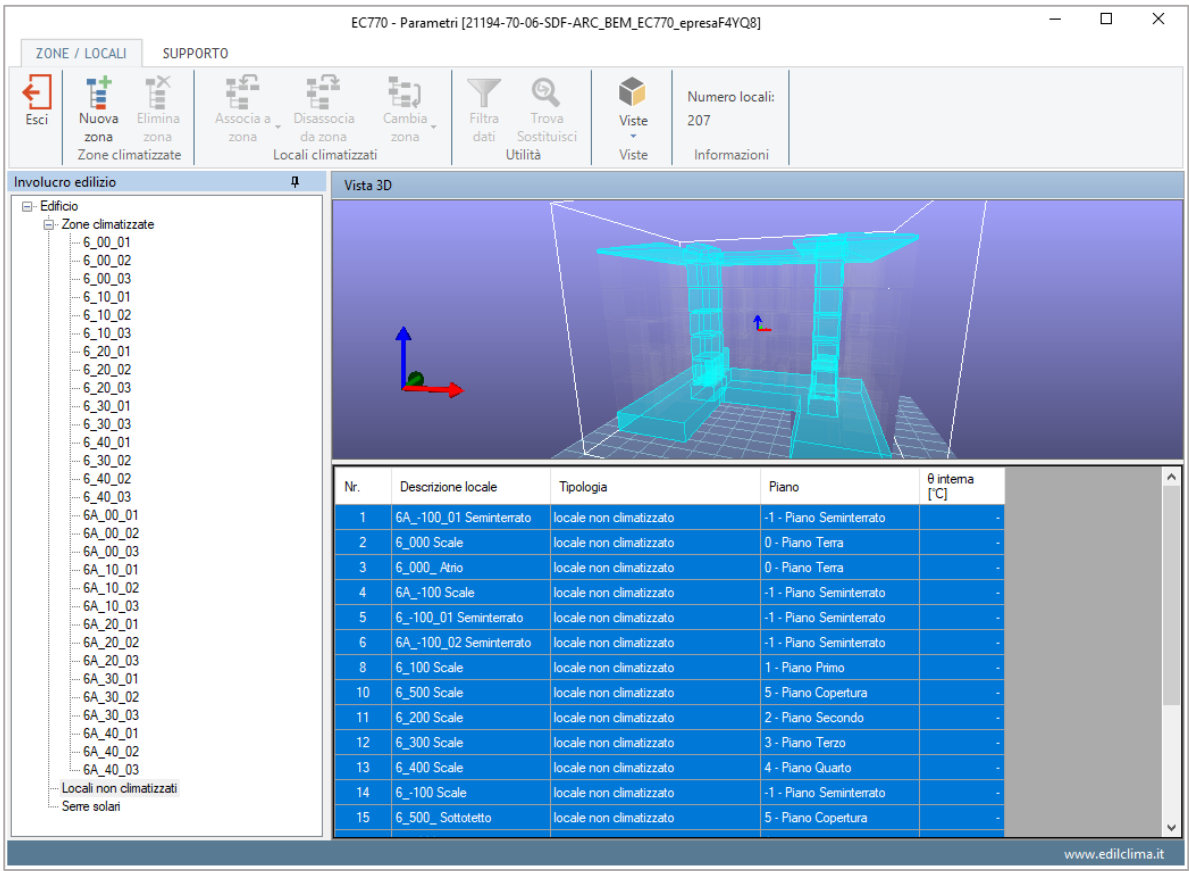


Figura 5.48 – Finestra “Parametri” di EC770

Non c’è però una corrispondenza biunivoca tra le voci “tipo di climatizzazione” in Revit

e “tipologia” nei software Edilclima (Tabella 5.14). Nel caso in cui si avesse nel progetto una serra solare o un locale o un vano adiacente al terreno, è necessario cambiare, una volta in EC770 o in EC700, la tipologia corrispondente a quel locale o a quel vano.

Tabella 5.14 – Corrispondenza Tipo di climatizzazione (Revit) e Tipologia (Edilclima)

Tipo di climatizzazione (Revit)	Tipologia (Edilclima)
-	Locale irregolare
Riscaldamento	Locale climatizzato
Raffreddamento	Locale climatizzato
Riscaldamento e raffreddamento	Locale climatizzato
Senza climatizzazione	Locale non climatizzato
-	Locale climatizzato verso terreno
-	Locale non climatizzato verso terreno
-	Serra solare
-	Serra solare verso terreno
Ventilazione	Locale climatizzato
Soltanto ventilazione naturale	Locale climatizzato

6.3 Materiali

La stessa procedura di assegnazione dei materiali illustrata con l'importazione dell'IFC in EC700 si deve ripetere con il plug-in. Seguendo il percorso *Moduli aggiuntivi* → *Edilclima* → *EC770* si accede alla finestra di associazione dei materiali (Figura 5.49).

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti
Elisabetta Presa 1151813

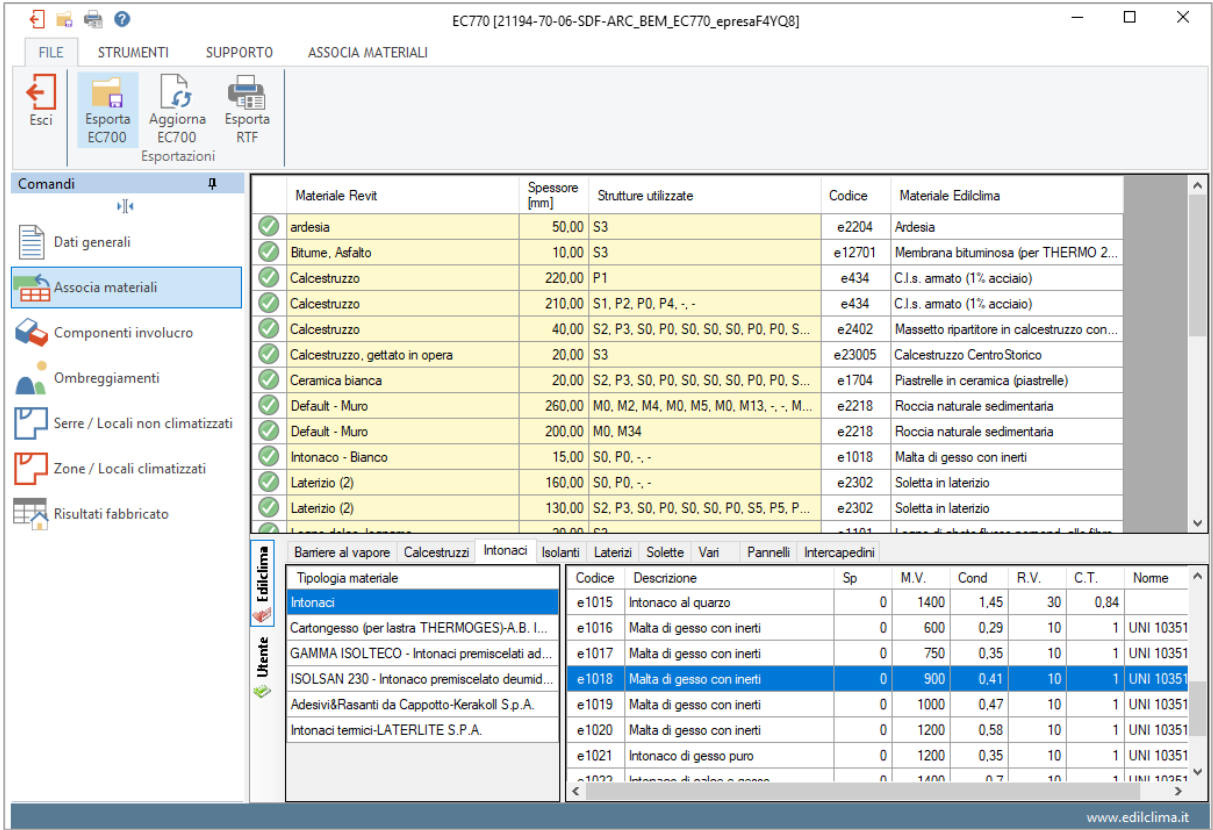


Figura 5.49 - Associazione materiali EC700

Per accorciare i tempi di assegnazione dei materiali, essendo questi gli stessi del file IFC che si è importato in EC700, è stato caricato lo stesso file XML creato in precedenza. Questo file però non è stato riconosciuto dal software (Figura 5.50), ed è stato pertanto necessario rieseguire l'intera associazione dei materiali assegnati in Revit con quelli dell'archivio Edilclima.

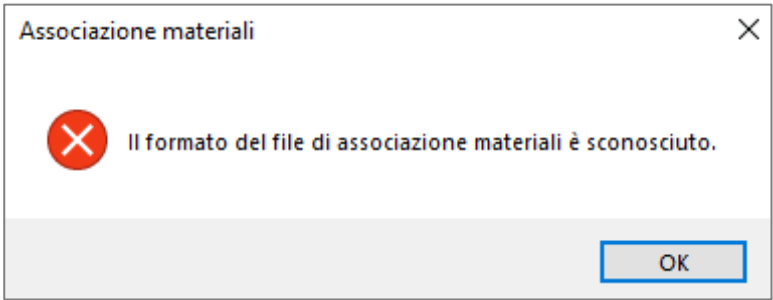


Figura 5.50 – Errore associazione materiali

Il file XML di associazione dei materiali creato per il file IFC, conteneva al suo interno le informazioni corrispondenti alle classi IFC, ovvero *IfcName* e *IfcThickness*; non utilizzando, ora, l'esportazione IFC per importare il lavoro in EC700, queste informazioni non sono contenute. Infatti, se si confrontano i due file aperti con un editor di testo si nota chiaramente la differenza del formato (Figura 5.51 e Figura 5.52).

Associazione materiali IFC.xml - Blocco note di Windows

File Modifica Formato Visualizza ?

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<IfcAssociation xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" Version="1">
  <Layer IfcName="ardesia" IfcThickness="5000" CodEdcl="e2204" />
  <Layer IfcName="Bitume, Asfalto" IfcThickness="1000" CodEdcl="e12701" />
  <Layer IfcName="Calcestruzzo" IfcThickness="22000" CodEdcl="e434" />
  <Layer IfcName="Calcestruzzo" IfcThickness="4000" CodEdcl="e2402" />
  <Layer IfcName="Calcestruzzo, gettato in opera" IfcThickness="2000" CodEdcl="e23005" />
  <Layer IfcName="Ceramica bianca" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1704" />
  <Layer IfcName="Coppi" IfcThickness="5000" CodEdcl="e11701" />
  <Layer IfcName="Default - Muro" IfcThickness="26000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="Default - Muro" IfcThickness="20000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="Intonaco - Bianco" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1018" />
  <Layer IfcName="Intonaco - Bianco" IfcThickness="1500" CodEdcl="e1018" />
  <Layer IfcName="Laterizio (2)" IfcThickness="16000" CodEdcl="e2302" />
  <Layer IfcName="Laterizio (2)" IfcThickness="13000" CodEdcl="e2302" />
  <Layer IfcName="Legno dolce, legname" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1101" />
  <Layer IfcName="malta di calce" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1023" />
  <Layer IfcName="Malta di gesso con inerti" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1020" />
  <Layer IfcName="Malta di gesso con inerti" IfcThickness="1500" CodEdcl="e1020" />
  <Layer IfcName="Malta di gesso con inerti cornice" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1020" />
  <Layer IfcName="Pavimentazione" IfcThickness="3000" CodEdcl="e1704" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="67000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="61000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="56000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="51000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="46000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="41000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="11000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="8000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IfcName="Sabbia e Calcestruzzo" IfcThickness="6500" CodEdcl="e2402" />
</IfcAssociation>
```

Linea 19, colonna 84 100% Windows (CRLF) UTF-8 con BOM

Figura 5.51 – File XML di associazione materiali IFC

Associazione Materiali EC770.xml - Blocco note di Windows

File Modifica Formato Visualizza ?

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Association xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" Version="2">
  <Layer IdRvt="205573" SchemaDicKey="3000" CodEdcl="e1704" />
  <Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="21000" CodEdcl="e434" />
  <Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="3000" CodEdcl="e1023" />
  <Layer IdRvt="203080" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1023" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="67000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1020" />
  <Layer IdRvt="3160" SchemaDicKey="26000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="22000" CodEdcl="e434" />
  <Layer IdRvt="3137" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1704" />
  <Layer IdRvt="3140" SchemaDicKey="6500" CodEdcl="e2402" />
  <Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="4000" CodEdcl="e2402" />
  <Layer IdRvt="3142" SchemaDicKey="13000" CodEdcl="e2302" />
  <Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="1500" CodEdcl="e1020" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="11000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="8000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="3160" SchemaDicKey="20000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="61000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="56000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="51000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="46000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="41000" CodEdcl="e2218" />
  <Layer IdRvt="3142" SchemaDicKey="16000" CodEdcl="e2302" />
  <Layer IdRvt="3134" SchemaDicKey="1500" CodEdcl="e1001" />
  <Layer IdRvt="263214" SchemaDicKey="5000" CodEdcl="e801" />
  <Layer IdRvt="71664" SchemaDicKey="1000" CodEdcl="e101" />
  <Layer IdRvt="71662" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e23005" />
  <Layer IdRvt="71660" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1714" />
  <Layer IdRvt="372275" SchemaDicKey="10000" CodEdcl="e2501" />
</Association>
```

Linea 13, colonna 61 100% Windows (CRLF) UTF-8 con BOM

Figura 5.52 – File XML di associazione materiali EC770

6.4 Input grafico EC770

Utilizzando il plug-in EC770, una volta importato in EC700 il lavoro, non è possibile accedere alla maschera del software “Input grafico” (Figura 5.53). La scelta di Edilclima è derivata dal fatto che, essendo EC770 un plug-in per un software di authoring, la restituzione grafica dell’edificio da analizzare è consultabile direttamente da Revit.

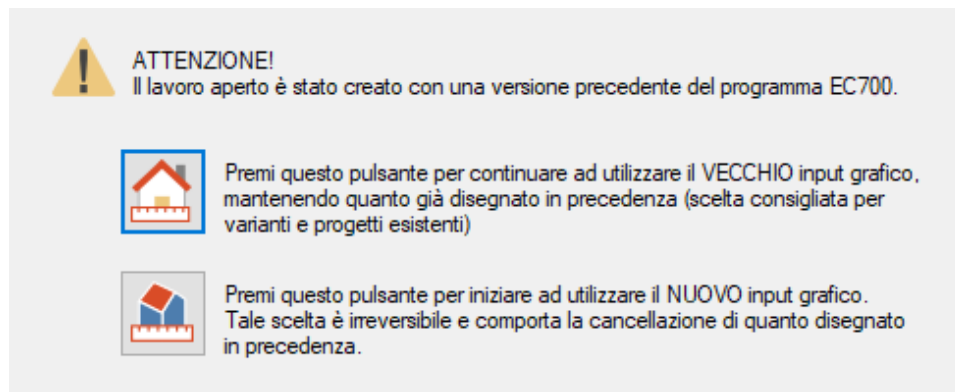


Figura 5.53 - Avviso input grafico EC770

Da questa impossibilità ne derivano tre principali conseguenze:

- non è possibile eseguire una verifica visionando il modello: non si può sapere, senza l’input grafico di EC700, se tutti gli elementi creati in Revit si sono esportati correttamente;
- è difficile comprendere a quali strutture corrispondono i diversi nomi di EC700: non potendo confrontare i nomi con gli elementi presenti nell’input grafico, è molto meno intuitivo capire a quale struttura corrisponde un determinato nome, soprattutto se le strutture dispendenti realizzate sono molte;
- è possibile eseguire solamente il calcolo manuale degli ombreggiamenti e non quello automatico; questo tipo di calcolo è molto meno intuitivo e veloce del calcolo automatico, il quale però lo si può realizzare solo attraverso la maschera “input grafico”.

6.5 Calcolo manuale ombreggiamenti

Alla maschera “Ombreggiamenti” è necessario andare a definire le cause del ridotto apporto di energia solare.

In Revit era stato inserito un solo parametro a tutte le strutture interessate ed esso viene riportato in questa maschera con lo stesso nome assegnato al parametro “EC Ombreggiamento”. Non essendo presenti balconi, o altri tipi di aggetti nell’edificio, si va a spuntare solamente la voce “Ostacoli esterni”.

Sono stati inseriti i dati relativi agli edifici circostanti, ovvero distanza e altezza, riferiti all’edificio da analizzare, secondo i punti cardinali. In questo modo si è compilata la tabella

relativa ai fattori di ombreggiamento. Essi corrispondono alle percentuali di radiazione solare che non viene intercettata da ostacoli, un valore di 100 significa che non è presente nessun tipo di ombreggiamento, mentre un valore di 0 implica che l'ostacolo impedisce totalmente il passaggio della radiazione solare.

Assegnando tutti i valori necessari al calcolo, i fattori di ombreggiamento risultanti, per ogni mese e per ogni punto cardinale vengono espressi in Tabella 5.15.

Tabella 5.15 – Fattori di ombreggiamento

Mese	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Orizz.
Gennaio	100	36	57	46	7	3	70	52	100
Febbraio	100	39	59	61	34	5	71	53	100
Marzo	100	40	66	75	77	5	78	56	100
Aprile	100	43	68	74	78	9	79	58	100
Maggio	100	42	68	71	70	19	78	57	100
Giugno	100	44	71	71	66	22	81	59	100
Luglio	100	44	70	72	71	22	80	58	100
Agosto	100	45	70	74	78	16	81	60	100
Settembre	100	39	63	74	86	5	73	55	100
Ottobre	100	40	63	71	50	4	75	54	100
Novembre	100	37	60	53	11	3	73	53	100
Dicembre	100	35	54	39	4	2	67	51	100

6.6 Porte opache e porte finestrate

Eseguendo l'esportazione di un file IFC e la successiva importazione di esso all'interno di EC700, è possibile, come già spiegato, assegnare alle porte finestrate i parametri IFC *IfcExportAs* e *IfcExportType* e mapparli rispettivamente come "IfcWindow" e "WINDOW". In questo modo, le porte finestrate venivano esportate come finestre e quindi, all'interno di EC700 venivano raggruppate insieme ai componenti finestrati. Non è possibile fare la stessa

cosa utilizzando il plug-in; infatti, con EC770 non si ricorre all'esportazione di un file IFC, e quindi non vengono esportati, e successivamente letti, i parametri IFC assegnati.

Il motivo per cui si era scelto di esportare le porte finestrate come finestre era quello di poter poi assegnare ad esse i ponti termici che si creavano per gli altri componenti finestrati. Non potendo cambiare la categoria agli elementi porte, essi verranno raggruppati all'interno dei componenti opachi e l'unico modo per assegnare loro dei ponti termici è quello di sostituire, in Revit, le porte finestrate con delle vere e proprie finestre, mantenendone però le corrette dimensioni.

7 CONFRONTO CON ALTRI SOFTWARE

Per avere un termine di paragone anche con altri software molto utilizzati per svolgere analisi energetiche, sono state fatte alcune prove di importazione di file IFC nei programmi TerMus e Termolog. In questo modo si sono potute analizzare le differenze e le analogie degli iter di importazione, considerando anche le informazioni che i software riescono a leggere di un file in formato IFC.

L'importazione del file IFC, in TerMus, avviene tramite *File* → *Nuovo* → *Nuovo da IFC* e selezionando poi il tipo di documento che si vuole redigere. È possibile visualizzare quanto è stato importato selezionando la vista "Import IFC" che si crea: viene mostrato il modello tridimensionale dell'edificio con la possibilità di selezionare gruppi simili di istanze e consultarne e modificarne le proprietà (Figura 5.54).

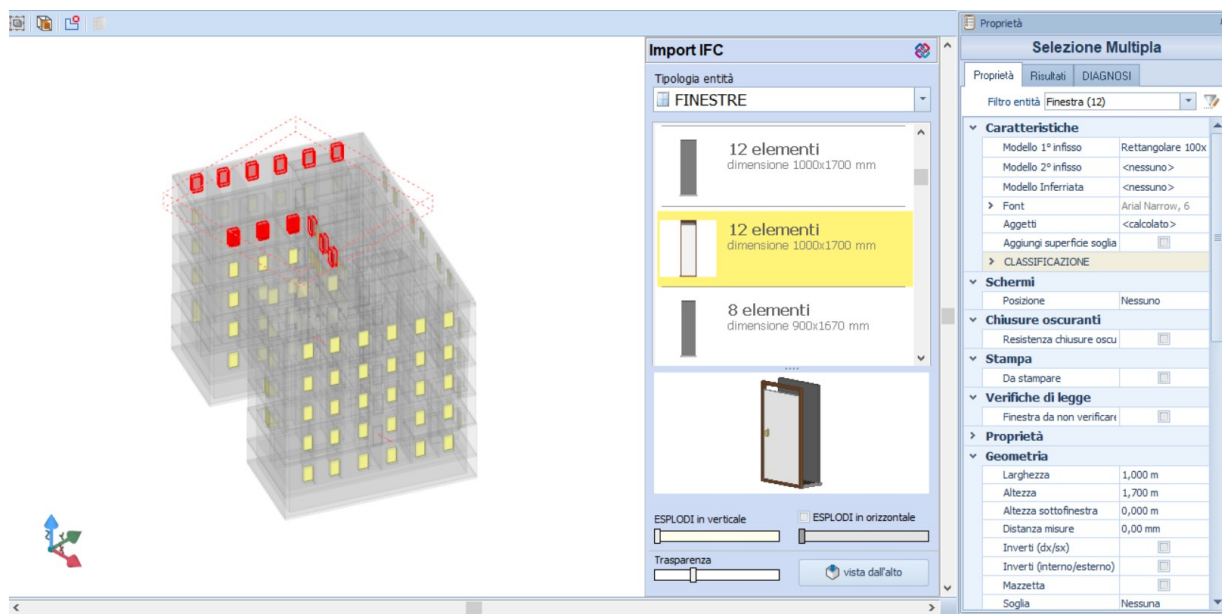


Figura 5.54 – Vista "Import IFC" TerMus

In Termolog è possibile importare file IFC dalla scheda "Involucro" selezionando *Importa* (DXF, DWG, IFC, PDF immagini) → IFC, selezionando una cartella e trascinando nell'input grafico

il file desiderato; a questo punto devono essere selezionate le opzioni di importazione del file, tra le quali è possibile scegliere di visualizzare il file IFC prima dell'importazione. Selezionando questa voce viene aperto un *viewer IFC* di Logical Soft all'interno del quale è possibile muoversi e visualizzare tutte le entità e le relative proprietà IFC (Figura 5.55).

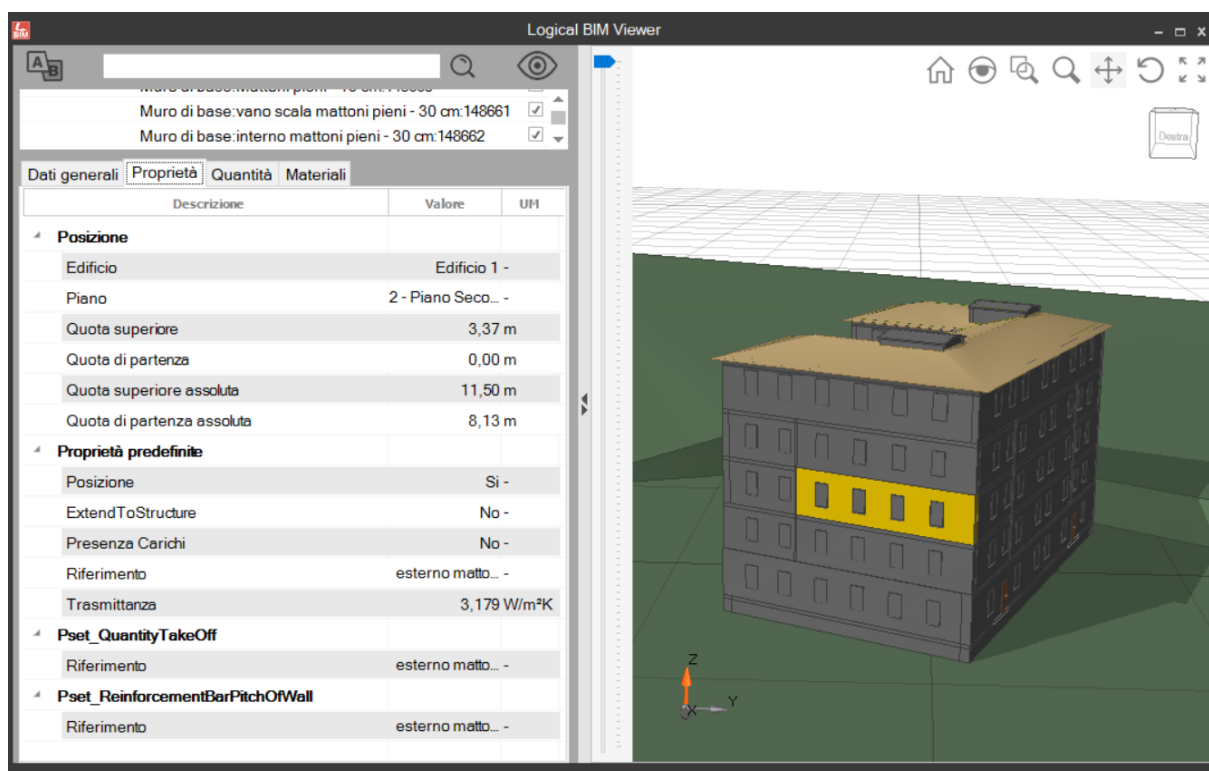


Figura 5.55 – *Viewer IFC* Logical Soft

Il posizionamento del progetto, sia in TerMus che in Termolog, non viene importato, ed è quindi necessario inserirlo. In particolare, nel primo dei software nominati, il procedimento di inserimento della posizione è analogo a quello che avviene in EC700: selezionato il comune in cui è collocato l'edificio nella scheda "Dati generali", scegliendolo in un database contenente tutti i comuni italiani, si compilano in automatico i campi relativi alla zona in cui esso si trova. Anche nel programma Termolog quest'informazione non viene tramandata e va inserita nella maschera "Relazione"; è possibile vedere i dati relativi alle temperature, che il software utilizza per il calcolo, selezionando il comando *Strumenti* → *Comune*.

TerMus riconosce la stratigrafia importata tramite IFC; selezionando un elemento dell'involucro, nella vista "Import IFC", compare infatti l'elenco degli strati presenti nel file. Essi devono essere però riconfigurati all'interno del programma affinché si possa eseguire l'analisi. Infatti, se si va a modificare la stratigrafia di un elemento, si nota che le sue caratteristiche sono nulle e, quando si termina la modifica, il software avvisa che la stratigrafia non è valida in quanto contiene strati di default, i quali devono essere sostituiti. Per quanto riguarda Termolog, nel momento in cui si importa un file IFC viene chiesto dal programma se si vogliono importare le

stratigrafie delle strutture. Vengono proposte due alternative, ovvero l'utilizzo dei materiali del file IFC oppure l'utilizzo dei materiali di Termolog; nel secondo caso viene richiesto di associare i materiali presenti nell'edificio con i materiali presenti nell'archivio di Termolog, analogamente a quanto succede in EC700.

I vani importati all'interno di TerMus e di Termolog tramite il file IFC vengono riconosciuti; in entrambi i casi non vengono lette le loro caratteristiche, compresa la tipologia di climatizzazione, la quale veniva invece riconosciuta da EC770. In nessuno dei due casi vengono mantenute le zone create in Revit: i vani vengono raggruppati in un'unica zona di default creata dal software di analisi. È possibile, sia per quanto riguarda TerMus che per quanto riguarda Termolog, andare a creare altre zone climatizzate, inserendone le caratteristiche, e cambiare successivamente la zona di appartenenza dei vani importati. Questo è un procedimento lungo soprattutto per edifici di modesta grandezza, i quali contengono al loro interno parecchie zone differenti. Nel caso di Termolog, vengono anche elencate tutte le strutture disperdenti associate ad ogni vano, comprendenti del loro orientamento, del verso secondo cui disperdono e della loro trasmittanza (trasmittanza lineica nel caso in cui siano presenti ponti termici).

È possibile inserire i ponti termici esclusivamente all'interno dei programmi di analisi poiché questo tipo di informazione non è possibile importarla tramite un file IFC. La creazione di ponti termici in TerMus avviene in modo automatico tramite la selezione, nella vista 3D, di alcune zone predefinite. In Termolog i ponti termici vanno definiti e caratterizzati attraverso l'apposito modulo del software; creati tutti i ponti termici esistenti nell'edificio si vanno poi a selezionare le varie strutture disperdenti per associarli a ognuna di esse. La caratterizzazione e l'inserimento più intuitivi si hanno per il software EC700 di Edilclima, che permette l'inserimento dall'input grafico seguita dalla creazione dei ponti termici. È molto simile all'iter che si svolge in Termolog, ma in quest'ultimo l'inserimento dei ponti termici è in modalità tabellare.

Sia in TerMus che in Termolog, il calcolo degli ombreggiamenti avviene in modalità automatica, come viene previsto anche in EC700: è possibile modellare gli ingombri degli oggetti o degli edifici circostanti, e dato che viene importato l'orientamento dell'edificio, vengono poi calcolati gli ombreggiamenti.

Non è possibile in nessuno di questi software importare un file IFC contenente all'interno due modelli collegati, in casi come questo viene importato solo il file nel quale sono stati collegati gli altri modelli. Questo vale sia per un file architettonico collegato con un file impiantistico sia per due file architettonici. Da questo si deduce che, come per EC700, è necessario andare a caratterizzare all'interno dei software di analisi gli impianti presenti nell'edificio. In TerMus si deve accedere alla scheda *Dati edificio* → *Centrali termiche* e creare un nuovo impianto, all'interno del quale si aggiungono gli elementi che lo compongono. In Termolog sono presenti le schede relative all'ambito impiantistico ovvero "Climatizzazione invernale", "ACS" e "Generatori", nelle quali si vanno a inserire le caratteristiche dei

componenti dell'impianto.

È importante ricordare che entrambi questi software descritti sono in grado di esportare file in formato IFC e che quindi è possibile importare nuovamente questi file nel software BIM di partenza, in questo caso Revit.

Capitolo Sesto

CONCLUSIONI

Dal lavoro di tesi svolto sono emerse alcune problematiche relative al flusso di lavoro che comprende il passaggio del medesimo file attraverso più software di natura differente. In particolare, l'attenzione si è posta sull'utilizzo, in sequenza, dei software Revit ed EC700, per arrivare al raggiungimento della realizzazione di un'analisi energetica di un edificio.

Si è voluto andare ad analizzare quanto i due software siano in grado di trasferire le informazioni tra loro per poter capire quanto è possibile snellire il workflow per il compimento di analisi energetiche negli edifici, considerando che nella maggioranza dei casi, la realizzazione del modello architettonico dell'edificio da analizzare e l'analisi vera e propria, non vengono eseguiti dallo stesso professionista. Anche in questa tesi si è voluto simulare questo processo per cui è stato realizzato anzitutto un modello architettonico che poi ha subito alcune modifiche per poter procedere all'importazione in EC700. In questa fase di semplificazione del modello è stato necessario svolgere alcune operazioni finalizzate proprio all'utilizzo di EC700. Soprattutto nel caso di edifici complessi, infatti, la semplificazione del modello è essenziale, per evitare di appesantire e rallentare le procedure, e sono pertanto lecite alcune approssimazioni. È però necessario, per questo motivo, che la persona che si occupa della realizzazione del modello sia in grado di renderlo idoneo al software in cui lo si deve importare, o che chi svolga l'analisi abbia a disposizione gli strumenti per compiere alcune modifiche.

Sperimentando la procedura di esportazione da Revit con due metodi diversi, tramite creazione di un file IFC e tramite l'utilizzo del plug-in per Revit, è stato possibile fare alcune considerazioni. Sicuramente il plug-in EC770 ha il vantaggio di poter digitalizzare ponti termici e ombreggiamenti: grazie ad esso si possono assegnare alle strutture disperdenti e inserire anche, nelle posizioni desiderate, i ponti termici verticali, procedura che invece non è permessa con l'esportazione del file IFC. Allo stesso tempo però, un grande impedimento riscontrato è l'assenza dell'input grafico, la cui assenza, nonostante sia visualizzabile in Revit, non permette lo svolgimento di operazioni immediate come il calcolo automatico degli ombreggiamenti, il quale è più veloce e intuitivo dell'assegnazione dei parametri relativi, nel software BIM. D'altra parte, l'utilizzo di un file IFC costringe l'utente ad andare a realizzare e posizionare all'interno di EC700 tutti i ponti termici. Entrambi i metodi sicuramente rendono più immediato l'utilizzo di EC700, il quale, consentendo l'importazione di un file IFC o l'utilizzo del plug-in EC770, dà la possibilità di non dover realizzare una seconda volta la geometria dell'edificio all'interno del programma. Tutto ciò evidenzia anche l'importanza dello sviluppo e dell'utilizzo di formati aperti non proprietari, e le loro potenzialità.

Alcune prime ipotesi di miglioramento potrebbero essere l'inserimento della maschera relativa all'input grafico anche per i file realizzati tramite il plug-in per Revit o la possibilità di lettura dei parametri di ponti termici e ombreggiamenti creati anche con altri software BIM.

Un ulteriore confronto è stato fatto con i software TerMus e Termolog, sviluppati rispettivamente da Acca Software e da Logical Soft. Si è voluto mostrare quanto un file IFC possa essere utilizzato come base di partenza per lo svolgimento di un'analisi energetica anche con questi due software, in modo da poter avere anche dei paragoni con EC700. Entrambi i software sono risultati, in una fase preliminare di mera importazione del file, meno interoperabili attraverso un file in formato IFC, anche solo per il fatto che entrambi i programmi non riconoscono le zone presenti nel file e create precedentemente in Revit. In generale Termolog sembra molto simile a EC700 mentre TerMus, a primo impatto, è poco intuitivo. Il vantaggio di questi due software utilizzati per il confronto è che entrambi hanno la funzione di poter esportare un file IFC. È anche da ricordare il fatto che Termolog ha la possibilità di importare al suo interno un file gbXML, e che potrebbe quindi avere un grado di interoperabilità più alto con un software BIM grazie a questo aspetto.

Sviluppi futuri interessanti che potrebbero derivare da questo lavoro di tesi sono l'utilizzo del formato aperto gbXML e il confronto con l'utilizzo di altri software di analisi, per indagare gli aspetti interoperabili con il BIM per ognuno di essi, approfondendo ulteriormente anche i software TerMus e Termolog, il cui studio svolto è stato preliminare. Sarebbe interessante confrontare i due formati aperti IFC e gbXML per capire qual è il più idoneo ad essere utilizzato per flussi di lavoro di carattere energetico e interrogare i software per quanto riguarda l'involucro dell'edificio, per capire come caratterizzarlo al meglio e quali informazioni è possibile inserire in un software BIM affinché vengano riconosciute nei software di analisi le informazioni relative ad esso. Un ulteriore studio da svolgere è quello dell'importazione in un software BIM come ad esempio Revit, di un file IFC creato o implementato tramite software di analisi in grado di esportarlo. In questo modo si possono andare a studiare le informazioni che possono essere re-importate in Revit. In generale, è necessario comprendere quali informazione è operativamente possibile inserire all'interno di un file IFC per la caratterizzazione termica dell'involucro, e quali classi sarebbe opportuno che i software riuscissero a leggere attraverso file in questo formato. La stessa cosa, per quanto riguarda Termolog, può essere svolta anche con il formato gbXML.

APPENDICE 1

Abaco dei vani e delle zone termiche.

Numero	Area	Volume	Zona	Livello	Tipo di climatizzazione	IfcExportAs	IfcExportType	IfcObjectType
6_001_03	1.95 m ²	6.34 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_04	1.15 m ²	3.74 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_06	12.40 m ²	40.30 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_05	14.61 m ²	47.49 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_01	11.22 m ²	36.45 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_02	8.27 m ²	26.89 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_02	7.92 m ²	25.74 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_03	12.86 m ²	41.79 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_04	1.95 m ²	6.35 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_05	3.17 m ²	10.31 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_06	9.15 m ²	29.72 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_07	9.43 m ²	30.65 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_01	12.86 m ²	41.79 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_02	3.96 m ²	12.89 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_01	1.95 m ²	6.34 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_03	5.77 m ²	18.74 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_04	7.17 m ²	23.31 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_05	10.64 m ²	34.57 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_06	14.50 m ²	47.14 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_03	4.32 m ²	13.41 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_02	0.89 m ²	2.76 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_01	11.29 m ²	35.00 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_04	19.42 m ²	60.21 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_05	14.88 m ²	46.14 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_02	8.04 m ²	24.91 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_03	10.79 m ²	33.45 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_04	3.29 m ²	10.19 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_06	9.75 m ²	30.21 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_05	9.27 m ²	28.73 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_01	17.00 m ²	52.56 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_01	8.97 m ²	27.81 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_02	5.77 m ²	17.88 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_03	7.17 m ²	22.24 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_04	10.64 m ²	32.97 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_05	14.50 m ²	44.96 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_103_06	6.16 m ²	19.09 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

6_201_01	11.44 m²	35.47 m³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_201_04	15.08 m²	46.75 m³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_201_05	19.64 m²	60.89 m³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_201_02	0.90 m²	2.79 m³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_201_03	4.41 m²	13.66 m³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_06	9.39 m²	29.10 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_07	10.07 m²	31.21 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_05	3.38 m²	10.47 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_02	8.15 m²	25.27 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_03	11.11 m²	34.44 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_01	12.71 m²	39.41 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_202_04	4.09 m²	12.67 m³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_01	9.09 m²	28.18 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_04	0.97 m²	3.00 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_05	12.35 m²	38.30 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_02	3.79 m²	11.75 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_03	14.95 m²	46.34 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_203_06	12.98 m²	40.23 m³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_01	11.59 m²	35.93 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_02	8.59 m²	26.63 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_03	1.95 m²	6.05 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_04	1.27 m²	3.95 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_06	12.87 m²	39.91 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_301_05	15.28 m²	47.36 m³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_06	9.51 m²	29.48 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_02	8.23 m²	25.51 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_03	13.90 m²	43.08 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_04	1.21 m²	3.76 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_05	10.39 m²	32.22 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_302_01	16.92 m²	52.46 m³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_03	6.19 m²	19.18 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_05	7.22 m²	22.39 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_04	0.30 m²	0.92 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_07	13.15 m²	40.76 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_06	16.28 m²	50.45 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_01	9.21 m²	28.55 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_303_02	2.48 m²	7.70 m³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_02	8.70 m²	26.96 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_01	11.82 m²	36.64 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_03	1.95 m²	6.05 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_04	1.32 m²	4.08 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_06	13.03 m²	40.40 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_401_05	15.40 m²	47.73 m³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_402_02	8.38 m²	25.99 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_402_03	14.34 m²	44.44 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato

6_402_04	1.38 m²	4.27 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_402_06	10.72 m²	33.25 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_402_05	9.63 m²	29.85 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_402_01	16.61 m²	51.48 m³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_01	9.45 m²	29.30 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_04	8.73 m²	27.05 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_02	1.22 m²	3.79 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_03	3.16 m²	9.79 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_05	7.68 m²	23.82 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_06	11.20 m²	34.72 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_403_07	15.27 m²	47.35 m³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_01	7.26 m²	23.60 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_02	6.87 m²	22.32 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_05	3.63 m²	11.79 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_04	1.22 m²	3.96 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_03	10.64 m²	34.57 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_001_06	14.50 m²	47.14 m³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_06	7.92 m²	25.74 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_01	9.15 m²	29.72 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_02	9.43 m²	30.65 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_05	3.17 m²	10.31 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_07	12.86 m²	41.79 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_03	12.86 m²	41.78 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_002_04	1.95 m²	6.35 m³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_01	14.69 m²	47.73 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_03	11.14 m²	36.21 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_04	1.95 m²	6.34 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_05	1.15 m²	3.74 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_06	8.27 m²	26.89 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_003_02	12.40 m²	40.31 m³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_01	6.43 m²	19.95 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_02	7.17 m²	22.24 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_05	2.30 m²	7.12 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_06	2.97 m²	9.20 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_07	8.97 m²	27.81 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_03	10.64 m²	32.97 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_101_04	14.50 m²	44.96 m³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_06	8.10 m²	25.10 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_01	9.27 m²	28.73 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_02	9.75 m²	30.21 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_05	1.25 m²	3.88 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_04	13.32 m²	41.29 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_102_03	16.93 m²	52.49 m³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_103_01	14.88 m²	46.14 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_103_02	12.56 m²	38.93 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

6A_103_03	11.29 m²	35.00 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_103_06	8.38 m²	25.98 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_103_04	1.95 m²	6.05 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_103_05	1.19 m²	3.70 m³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_01	8.08 m²	25.04 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_02	7.09 m²	21.97 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_03	10.09 m²	31.28 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_05	1.35 m²	4.19 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_06	2.91 m²	9.01 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_07	9.09 m²	28.18 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_201_04	15.38 m²	47.69 m³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_06	8.21 m²	25.46 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_07	13.69 m²	42.44 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_04	3.94 m²	12.21 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_01	9.39 m²	29.10 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_02	10.07 m²	31.21 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_05	1.29 m²	4.01 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_202_03	12.79 m²	39.64 m³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_01	14.78 m²	45.80 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_02	12.72 m²	39.42 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_04	1.95 m²	6.05 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_05	1.23 m²	3.82 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_06	8.49 m²	26.31 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_203_03	11.75 m²	36.42 m³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_06	3.82 m²	11.83 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_01	1.04 m²	3.23 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_02	12.14 m²	37.63 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_03	13.91 m²	43.13 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_05	9.21 m²	28.55 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_301_04	14.89 m²	46.16 m³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_05	8.33 m²	25.82 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_04	14.06 m²	43.59 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_03	1.34 m²	4.14 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_02	10.39 m²	32.22 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_01	9.51 m²	29.48 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_302_06	16.77 m²	51.98 m³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_01	15.12 m²	46.88 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_02	12.87 m²	39.91 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_03	11.75 m²	36.41 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_04	1.95 m²	6.05 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_05	1.27 m²	3.95 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_303_06	8.59 m²	26.63 m³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_01	8.73 m²	27.05 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_02	7.68 m²	23.82 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_03	11.20 m²	34.72 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato

6A_401_05	1.22 m²	3.79 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_07	9.45 m²	29.30 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_06	3.16 m²	9.79 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_401_04	15.27 m²	47.35 m³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_05	8.44 m²	26.18 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_06	14.44 m²	44.76 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_04	1.38 m²	4.27 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_02	10.72 m²	33.25 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_01	9.63 m²	29.85 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_402_03	16.68 m²	51.70 m³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_01	15.32 m²	47.49 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_02	13.03 m²	40.40 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_06	8.70 m²	26.96 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_03	11.90 m²	36.88 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_04	1.95 m²	6.05 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_403_05	1.32 m²	4.08 m³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6A_-100_01	328.77 m²	723.30 m³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_400	12.66 m²	39.24 m³	Non climatizzata	4 - Piano Quarto	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_300	12.50 m²	38.77 m³	Non climatizzata	3 - Piano Terzo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_400	12.66 m²	39.24 m³	Non climatizzata	4 - Piano Quarto	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_300	12.50 m²	38.77 m³	Non climatizzata	3 - Piano Terzo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_200	12.35 m²	38.29 m³	Non climatizzata	2 - Piano Secondo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_200	12.35 m²	38.29 m³	Non climatizzata	2 - Piano Secondo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_100	12.20 m²	37.81 m³	Non climatizzata	1 - Piano Primo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_100	12.20 m²	37.81 m³	Non climatizzata	1 - Piano Primo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_-100_01	8.97 m²	19.47 m³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_-100_02	8.97 m²	19.47 m³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_-100	12.05 m²	28.72 m³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_-100	12.05 m²	28.72 m³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_000_	8.97 m²	29.15 m³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_000_	8.97 m²	29.15 m³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_000	12.05 m²	39.53 m³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_000	12.05 m²	40.24 m³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_500_	372.20 m²	291.70 m³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6_500	12.66 m²	25.40 m³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato
6A_500	12.66 m²	25.40 m³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFINED	Non climatizzato

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti
Elisabetta Presa 1151813

ACCA SOFTWARE, *IFC – OpenBIM, l'importanza del formato aperto dei dati nella progettazione*. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25717-ifc-open-bim-limportanza-del-formato-aperto-dei-dati-nella-progettazione>

Architettura file IFC (parte 1): IfcObjectDefinition, 2020. Consultabile in: <https://bim.acca.it/architettura-file-ifc-ifcobjectdefinition/>

Assimpredil Ance, *Prestazione energetica edifici – recepimento direttiva UE 2018/844*. Consultabile in: <https://portale.assimpredilance.it/articoli/prestazione-energetica-edifici-recepimento-direttiva-ue-2018-844>

Attuazione della direttiva (UE) 2018/2002, che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, 2020. Consultabile in: <https://temi.camera.it/leg18/dossier/OCD18-13432/attuazione-della-direttiva-ue-2018-2002-che-modifica-direttiva-2012-27-ue-sull-efficienza-energetica.html>

Autodesk, *Manuale dello standard IFC per Revit, istruzioni dettagliate per l'utilizzo dei file IFC*, 2018

V. Bazjanac, A. Kiviniemi, *Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data*, Proceedings of the 24th Conference on Bringing ITC Knowledge to Work, 2007

V. Bazjanac, *Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*, Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010

P. Borin, C. Zanchetta, *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2020

H. Bourg, *L'identità dell'oggetto nel formato IFC*, 2019. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/identita-oggetto-nel-formato-ifc>

H. Bourg, *La rappresentazione degli oggetti IFC*, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/la-rappresentazione-degli-oggetti-ifc-focus>

H. Bourg, *Le Proprietà nel Formato IFC*, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-proprietà-nel-formato-ifc>

H. Bourg, *Le Relazioni nel formato IFC*, 2020. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-relazioni-nel-formato-ifc-focus>

N. Calabrese, A. Carderi, C. Lavinia, F. Caffari, E. Passafaro, *Manuale per la diagnosi energetica degli edifici pubblici*, 2019. Consultabile in: <https://www.certifico.com/component/atta>

chments/download/11983

A. Cardillo, P. Tripodi, *Cosa s'intende per indice di prestazione energetica (EPgl, IPE, EPgl,nren)*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/attestato-prestazione-energetica-ape-fiorenze/indice-di-prestazione-energetica>

A. Cardillo, P. Tripodi, *Diagnosi energetiche – norme EN 16247 (parti: 1, 2, 3, 4, 5)*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/audit-diagnosi-energetiche/norme-en-16247-parti-1-2-3-4-5>.

A. Cardillo, P. Tripodi, *Nuovo attestato di prestazione energetica APE degli edifici*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/nuovo-attestato-prestazione-energetica-dm-26-06-2015-nuovo-ape-2016>

M. Carradori, *Lo standard IFC e la meccanica della mappatura del dato*, Webinar Graphisoft: IFC, questo sconosciuto: impariamo a conoscere il principale standard alla base dell'interoperabilità, 2020. Consultabile in: <https://youtu.be/BmQHJiaAfsU>

Y. A. Cengel, G. Dall'Ò, L. Sarto, *Fisica Tecnica Ambientale*, Università degli studi di Padova, McGraw – Hill Education, 2017

Certifico S.r.l., *Relazione tecnica di progetto (relazione tecnica ex legge 10)*, 2021. Consultabile in: <https://www.certifico.com/newsletter/archive/view/listid-65-impianti/mailid-40469-relazione-tecnica-di-progetto-relazione-tecnica-ex-legge-10>

Q. Chen, Y. Harmanici, Y. Ou et al., *Robust IFC files to improve information exchange: an application for thermal energy simulation*, ISEC 2017 – 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction, 2017

A. Chiarelli, *Struttura dei Documenti XML*, 2006. Consultabile in: <https://www.html.it/pag/16217/struttura-dei-documenti-xml/>

S. Ciciiriello, *Nuova Direttiva UE 2018/844 sull'efficienza energetica: cosa cambia?*, 2018. Consultabile in: <https://www.ediltecnico.it/65215/nuova-direttiva-ue-2018-844-efficienza-energetica-cosa-cambia/>

M. Ciucci, A. Keravec, *Efficienza Energetica, Parlamento Europeo*, 2021. Consultabile in: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/69/efficienza-energetica#:~:text=Nel%202007%20i%20leader%20dell,%2C5%20%25%20entro%20il%202030>

CTI, *Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici*. Consultabile in: <https://www.cti2000.eu/la-uni-ts-11300/>

CTI, *Regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI*, 2016

CTI, *Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo*. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>.

Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Allegato 1, *Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici*. Consultabile in: https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM_Linee_guida_APE_allegato1.pdf

A. Denza, *Simulazione dinamica energetica degli edifici*, 2015. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>

C. Di Perni, S. Summa, L. Tarabelli, *Valutazione della prestazione energetica degli edifici: il nuovo metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1*, 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25573-valutazione-della-prestazione-energetica-degli-edifici-il-nuovo-metodo-dinamico-orario-della-uni-en-iso-52016-1>

B. Dong, K. P. Lam, Y. Huang, G. M. Dobbs, *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, IBPSA International Building Performance Simulation Association, 2007

DPR n. 412 del 26 agosto 1993

Edilclima, *EC700 Calcolo prestazione energetiche degli edifici (versione 10)*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/700-scheda.pdf>

Edilclima, *EC709 Ponti termici*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/709-scheda.pdf>

Edilclima, *EC720 Diagnosi energetica ed interventi migliorativi*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/assets/repository/software/informazioni/720-scheda.pdf>

Edilibera, *Diagnosi energetica e APE a confronto: non sono la stessa cosa*, 2020. Consultabile in: <http://edilibera.it/diagnosi-energetica-e-attestato-ape-a-confronto-non-sono-la-stessa-cosa/>

M. Elagiry, N. Charbel, P. Bourreau et al., *IFC to Building Performance Simulation: a Systematic Review of the Main Adopted Tools and Approaches*, BauSIM, 2020

ENEA, *Approvato il Decreto di recepimento della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica*, ENEA, 2014. Consultabile in: <https://www.enea.it/it/seguici/news/approvato-il-decreto-di-recepimento-della-direttiva-2012-27-ue-efficienza-energetica>

N. Furcolo, *Certificazione energetica (parte 2): il decreto requisiti minimi*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/certificazione-energetica-decreto-requisiti-minimi/>

N. Furcolo, *IFC, cos'è: caratteristiche, vantaggi ed importanza della certificazione IFC*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/>

N. Furcolo, *Piattaforme interoperabili e formato IFC nei processi BIM*. Consultabile in: <https://biblus.acca.it/focus/piattaforme-interoperabili-e-formato-ifc-nei-processi-bim/>

M. A. Goncalves, N. Abreu, *Challenges of exporting an IFC file to integrate the energy simulation analysis workflow*, 2019.

A. Gorrino, *Sviluppo e validazione di modelli di calcolo della prestazione energetica dell'edificio: ponti termici e componenti speciali di involucro* – Tesi di dottorato, Politecnico di Torino, 2011

IES - Software per l'analisi delle performance energetiche e ambientali degli edifici, 2010. Consultabile in: <http://www.energeticorisparmio.com/2010/10/ies-software-per-lanalisi-delle.html?m=1>

E. Kamel, A. Memari, *Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solution*, Automation in Construction, 2019

Legge n. 10, 9 gennaio 1991

Manuale d'uso Mold Simulator

A cura di C. Marinosci, *Quaderno tecnico per il professionista. Ponti termici in edilizia*. Consultabile in: https://www.ingegnereitaliano.it/2018/04_23_ponti_termici.pdf

C. Marinosci, G. Semprini, *Software di simulazione energetica dinamica degli edifici*. Consultabile in: https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=Software%20di%20simulazione%20energetica_Marinosci-Semprini_SITO.pdf

S. Martinelli, *Relazione termica legge 10: che cos'è e quando deve essere presentata*, 2016. Consultabile in: <https://www.lavorincasa.it/relazione-termica-legge-10/>

L. Mazzarella, L. A. Piterà, *LINEE GUIDA Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*. Consultabile in: <https://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/gatti.pdf>

MC4Software, *Il software professionale come strumento di efficacia nella gestione dell'Efficienza Energetica degli edifici*, 2018. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/21830-il-software-professionale-come-strumento-di-efficacia-nella-gestione-dellefficienza-energetica-degli-edifici>

A cura di E. Meloni, *Efficienza energetica, priorità europea*. Approvato il Dlgs 73/2020, 2020. Consultabile in: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/efficienza-energetica-europa-dlgs-73-2020/>

MISE, *Superbonus e sismabonus 110% - decreti attuativi*. Consultabile in: <https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/energia/superbonus-110>

L. Nissim, *IFC: cos'è? E com'è fatto?*, 2015. Consultabile in: <https://www.ibimi.it/ifc-cos-e-com-e-fatto/>

M. Petracca, *La direttiva 2012/27/UE: un concreto passo in avanti verso il miglioramento della resa energetica in Europa*. Consultabile in: <https://www.ambientediritto.it/dottrina/la-direttiva-2012-27-ue-un-concreto-passo-in-avanti-verso-il-miglioramento-della-resa-energetica-in->

europa/

I. Ramaji, J. Messner, E. Mostavi, *IFC Based BIM-to-BEM Model Transformation*, Journal of Computing in Civil Engineering, 2020

P. Rotiroti, *La normativa vigente in materia di Certificazione Energetica in Italia*. Consultabile in: <http://www.arpacal.it/atticonvegni/La%20normativa%20vigente%20in%20materia%20di%20Certificazione%20Energetica.pdf>

A. Saracino, *Autodesk Green Building Studio*. Consultabile in: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/autodesk-green-building-studio>

D. Soma, *La diagnosi energetica con il software Edilclima: i punti di forza ed il valore aggiunto*. Consultabile in: <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=EDILCLIMA%20DIAGNOSI%20ENERGETICHE.pdf>

Studio SIMAX, *Efficienza energetica degli edifici*. Consultabile in: <http://www.studiosimax.it/index.php/attivita/efficienza-energetica-edifici>

Teknoring, *Studiare la condensazione interstiziale con il metodo di Glaser: un esempio di calcolo*, 2016. Consultabile in: <https://www.teknoring.com/guide/guide-ingegneria/studiare-la-condensazione-interstiziale-con-il-metodo-di-glaser-un-esempio-di-calcolo/>

UNI/TS 11300-1:2014

A. Ursini Casalena, *EnergyPlus vs Designbuilder: Simulazione del Sistema Edificio Impianto in Regime Dinamico*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2009/06/07/energyplus-designbuilder-simulazione-edificio-impianto-regime-dinamico.html>

A. Ursini Casalena, *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici nZEB*, a cura di D. Di Giorgio. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>

<https://www.acca.it/aggiorna/termus>

<https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/information-delivery-manual-idm/>

<https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/model-view-definitions-mvd/>

<https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/profilo/>

<https://www.conceptdraw.com/solution-park/software-express-g-data-modeling-diagram>

https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML

www.knowledge.autodesk.com

<https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica>

https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcrelspaceboundary1stlevel.htm

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC2/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcrelspceboundary2ndlevel.htm

<https://www.youtube.com/watch?v=4A7hsIDZZFs>

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 – Coefficienti moltiplicativi $EP_{gl,nren,rif,standard(2019/2021)}$	17
Tabella 1.2 – Elenco degli applicativi informatici (valido dal 29 giugno 2016).....	32
Tabella 3.1 – Confronto file di input nei software per l'analisi energetica	60
Tabella 4.1 – differenze tra lo schema gbXML e IFC	74
Tabella 5.1 – Abaco delle stratigrafie degli elementi costruttivi.....	86
Tabella 5.2 – Dimensioni finestre progetto.....	90
Tabella 5.3 – Assegnazione parametri IFC	97
Tabella 5.4 – Assegnazione classificazione OmniClass	100
Tabella 5.5 – Confronto materiali IFC con materiali archivio Edilclima.....	113
Tabella 5.6 – Differenze nelle caratteristiche degli impianti per ipotesi 1, 2 e 3	133
Tabella 5.7 – Risultati potenza dispersa	133
Tabella 5.8 – Energia invernale	134
Tabella 5.9 – Energia estiva.....	134
Tabella 5.10 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (stato di fatto)	135
Tabella 5.11 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (post interventi migliorativi).....	137
Tabella 5.12 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (post inserimento strato isolante)	137
Tabella 5.13 – Risultati $EP_{gl,nren}$ delle varie ipotesi (scenario isolamento copertura) ..	138
Tabella 5.14 – Corrispondenza Tipo di climatizzazione (Revit) e Tipologia (Edilclima)	145
Tabella 5.15 – Fattori di ombreggiamento.....	149

Analisi di interoperabilità tra modelli BIM e ambienti di simulazione energetica: standard IFC per la digitalizzazione di ponti termici e ombreggiamenti

Elisabetta Presa 1151813

Figura 2.1 – Trasmissione del calore per conduzione	36
Figura 2.2 – Esempio resistenze in serie	38
Figura 2.3 – Esempio resistenze in parallelo	38
Figura 2.4 – Esempio combinazione convezione e conduzione	40
Figura 2.5 – Esempio combinazione conduzione e irraggiamento	42
Figura 2.6 – Tipologia di ponti termici secondo la norma UNI EN ISO 14683	44
Figura 4.1 – Architettura dello schema di dati IFC (presa da: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/)	64
Figura 4.2 – Esempio schema EXPRESS-G (preso da: https://blog.archicad.it/bim/identita-oggetto-nel-formato-ifc)	66
Figura 4.3 – Schema gerarchico <i>IfcObject</i> (preso da: https://www.buildingsmartitalia.org/)	67
Figura 4.4 – Esempio dello schema di un file IFC in formato SPF.....	71
Figura 4.5 – Schema workflow BIM-to-BEPS (M. Elagiry, N. Charbel, P. Bourreau et al., <i>IFC to Building Performance Simulation: a Systematic Review of the Main Adopted Tools and Approaches</i> , BauSIM, 2020).	76
Figura 4.6 – Primo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, <i>Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation</i> , Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)	79
Figura 4.7 – Secondo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, <i>Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation</i> , Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)	79
Figura 4.8 – Terzo livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, <i>Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation</i> , Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)	80
Figura 4.9 – Quarto livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, <i>Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation</i> , Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010)	81
Figura 4.10 – Quinto livello di space boundary (preso da: V. Bazjanac, <i>Space boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation</i> ,	

Proceeding of the CIB W78 2010: 27th International Conference, 2010).....	81
Figura 5.1 – Vista di Google Earth del caso studio.....	84
Figura 5.2 – Planimetria PT.....	85
Figura 5.3 – Dettaglio cornici decorative (prospetto nord-est e sud-est)	85
Figura 5.4 – Inserimento posizione del progetto in Revit.....	88
Figura 5.5 – Posizionamento planimetrie catastali e planimetria-tipo DWG.....	89
Figura 5.6 - Modello architettonico.....	91
Figura 5.7 – Modello BEM	92
Figura 5.8 – Browser dei materiali.....	94
Figura 5.9 – Browser dei componenti di progetto.....	95
Figura 5.10 – impianti di riscaldamento e ACS	96
Figura 5.11 – Stringa IFCSLAB con mappato <i>PredefinedType</i>	96
Figura 5.12 – importazione parametri condivisi.....	97
Figura 5.13 – Scheda “Modifica configurazione” al momento dell’esportazione di un file IFC.....	99
Figura 5.14 - Schermata presa da <i>Open IFC Viewer</i> (IFC 2x3 Coordination View 2.0)	102
Figura 5.15 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 2x3 Coordination View 2.0)	103
Figura 5.16 – Input grafico EC700 (IFC 2x3 Coordination View 2.0)	104
Figura 5.17 - Schermata presa da <i>Open IFC Viewer</i> (IFC 2x3 Concept Design BIM 2010)	104
Figura 5.18 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 2x3 GSA Concept Design BIM 2010).....	105
Figura 5.19 – Input grafico EC700 (IFC 2x3 GSA Concept Design 2.0)	106
Figura 5.20 - Schermata presa da <i>Open IFC Viewer</i> (IFC 4 Reference View)	106
Figura 5.21 – Avviso EC700 in fase di importazione (IFC 4 Reference View).....	107
Figura 5.22 - Schermata presa da <i>Open IFC Viewer</i> (IFC 4 Design Transfer View).....	107
Figura 5.23 – Fase di associazione zone e locali in EC700 (IFC 4 Design Transfer View)	108
Figura 5.24 – Input grafico EC700 (IFC 4 Design Transfer View)	108
Figura 5.25 – Impossibilità di importazione IFC.....	110

Figura 5.26 – Dati climatici comune di Genova.....	111
Figura 5.27 – Associazione materiali.....	112
Figura 5.28 – Librerie Revit con materiali Edilclima	114
Figura 5.29 – Associazione materiali IFC (libreria Edilclima) e materiali archivio Edilclima	115
Figura 5.30 – Associazione locali.....	116
Figura 5.31 – Associazione vani	117
Figura 5.32 – Confronto proprietà vani, EC700 e Revit.....	118
Figura 5.33 – Maschera “Dati generali”, scheda “Dati progetto”	120
Figura 5.34 – Maschera “Dati generali”, scheda “Regime normativo”	121
Figura 5.35 – Scheda “Dati generali”, maschera “Componenti involucro” (Muro).....	123
Figura 5.36 – riepilogo Muri, maschera “Componenti involucro”	124
Figura 5.37 – Inserimento stratigrafia porta opaca	125
Figura 5.38 – Muri vano scala prima (a sinistra) e dopo (a destra)	126
Figura 5.39 – Configurazione ponte termico con EC709.....	127
Figura 5.40 – Scheda “Dati generali”, maschera “Componenti involucro” (Ponti termici)	128
Figura 5.41 – Scheda “Dati generali”, maschera “Componenti involucro” (Componenti finestrati).....	129
Figura 5.42 – Componenti finestrati	130
Figura 5.43 – Maschera “Input grafico”, calcolo automatico degli ombreggiamenti..	131
Figura 5.44 – Maschera “Interventi migliorativi”, scheda “Fabbricato”	136
Figura 5.45 – Parametri per ponti termici e ombreggiamenti (EC770).....	140
Figura 5.46 – Esempio ponte termico muro-solaio.....	142
Figura 5.47 – Esempio ponte termico muro-solaio interpiano	143
Figura 5.48 – Finestra “Parametri” di EC770.....	144
Figura 5.49 - Associazione materiali EC770	146
Figura 5.50 – Errore associazione materiali	146
Figura 5.51 – File XML di associazione materiali IFC	147
Figura 5.52 – File XML di associazione materiali EC770.....	147

Figura 5.53 - Avviso input grafico EC770	148
Figura 5.54 – Vista “Import IFC” TerMus	150
Figura 5.55 – <i>Viewer IFC</i> Logical Soft	151