Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Ricerca di Sistema elettrico

Le diagnosi energetiche nel processo BIM: requisiti informativi, workflow e indicazioni per l'open BIM

G. Centi, M. Morini

Report RdS/PTR2020/116

LE DIAGNOSI ENERGETICHE NEL PROCESSO BIM: REQUISITI INFORMATIVI, WORKFLOW E INDICAZIONI PER L'OPEN BIM

G. Centi, M. Morini (ENEA)

Con il contributo di: F. Margiotta, L. Pazzola

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità
Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*
Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*
Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*
Linea di attività: *LA1.19 - Applicazioni e criticità dei modelli BIM per le Diagnosi Energetiche – Parte II*
Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi
Responsabile del Work package: Domenico Iatauro

Indice

SOMMARIO 5

1 INTRODUZIONE 6

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 8

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI ENERGETICHE 8
2.1.1 UNI CEI EN 16247:2014, Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici 11
2.1.2 Linee guida sulle diagnosi e rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 11
2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER IL BUILDING INFORMATION MODELLING 13
2.2.1 UNI EN ISO 19650:2019 18
2.2.2 Serie delle UNI 11337 23
2.3 INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI DI FABBISOGNO INFORMATIVO 24

3 METODOLOGIA PER L'INTEROPERABILITÀ BIM TO BEM 26

3.1 CHIARIMENTI SU IFC E GBXML 27
3.2 METODOLOGIA IDM/MVD 27

4 DIAGNOSI DELL'EDIFICIO DI STUDIO: SEDE INPS ROMA 29

4.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO: L'INVOLUCRO 32
4.1.1 Pareti perimetrali 33
4.1.2 Pareti su scala e verso altre unità 33
4.1.3 Copertura 33
4.1.4 Pavimento su terra 34
4.1.5 Solai verso locali non riscaldati 34
4.1.6 Serramenti 35
4.2 SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE/ESTIVA E DI PRODUZIONE DI ACS 36
4.2.1 Sistema di termoregolazione 36
4.3 IMPIANTI ELETTRICI 36
4.3.1 Illuminazione 36
4.3.2 Servizio per il trasporto di persone o cose 37
4.4 ANALISI DEI CONSUMI ELETTRICI 38
4.4.1 Fabbisogno di energia primaria ed emissioni di CO_2 40
4.4.2 Valutazione dei costi per l'approvvigionamento energetico e per la gestione 40
4.5 MODELLO ENERGETICO DEL SISTEMA FABBRICATO-IMPIANTO DELLA SEDE INPS 41
4.6 PROPOSTA DI MIGLIORAMENTO ENERGETICO 43

5 PROBLEMATICHE INTEROPERABILITÀ OPEN BIM PER DIAGNOSI ENERGETICHE 44

5.1 POSSIBILITÀ DI ESPORTAZIONE DI DATI DA DIAGNOSI ENERGETICHE ESISTENTI (MODELLO BEM) 45
5.2 FLUSSO DI INFORMAZIONI DAL MODELLO ARCHITETTONICO BIM AL MODELLO DI DIAGNOSI ENERGETICA BEM 53
5.2.1 Validazione della metodologia utilizzata 66

6 PROCESSO INFORMATIVO DELLA DIAGNOSI ENERGETICA IN AMBITO OPEN BIM 68

6.1 SCAMBI INFORMATIVI DELLA DIAGNOSI ENERGETICA CON GLI USI DEL BIM LUNGO L'INTERO CICLO DI VITA 70
6.2 MAPPA PROCESSO INFORMATIVO DIAGNOSI ENERGETICHE IN AMBITO BIM 74
6.2.1 Esempi di mappe di processo per scambio informativo BIM to BEM 75
6.2.2 Il Business Process Modeling Notation (BPMN) per la rappresentazione del modello processo 77
6.2.3 Attori del processo di diagnosi energetica 80
6.2.4 Diagramma di flusso Diagnosi Energetiche Linee Guida e UNI/TR 11775:2020 82
6.2.5 Mappa processo diagnosi energetica BIM: flusso di lavoro e flusso delle informazioni 89
6.3 INDIVIDUAZIONE PARAMETRI MINIMI PER DIAGNOSI ENERGETICHE 92

7 INDICAZIONI PER L'INTEROPERABILITÀ OPEN BIM PER DIAGNOSI ENERGETICHE 98

8 CONCLUSIONI 100
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 103
10 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 106

Sommario

Due motivazioni fondamentali rendono necessario intensificare la ricerca per trovare soluzioni per il superamento degli ostacoli che ancora limitano l'utilizzo della metodologia BIM per l'analisi/simulazione e progettazione energetica. Da un lato l'ormai prossimo appuntamento del 2025 che vedrà l'obbligo per le amministrazioni pubbliche di applicazione della metodologia BIM per tutti i bandi di gara di progettazione, costruzione e gestione delle opere edili e delle infrastrutture. Dall'altro, la rilevanza che ricopre in Italia la riqualificazione energetica del parco edilizio esistente sempre più nella direzione di edifici ZEB (Zero Energy Building) o comunque ad elevata prestazione energetica. Il principale sforzo deve essere focalizzato al raggiungimento della piena e aperta interoperabilità tra i software, per un flusso di lavoro BIM efficace e la condivisione delle informazioni tra tutti i protagonisti del processo. Non va, inoltre, dimenticata la necessità, anch'essa prioritaria, di supportare, nel più breve tempo possibile e con minor sforzo economico possibile, la crescita dell'organizzazione e della struttura aziendale pubblica verso la completa digitalizzazione e la gestione efficace del processo informativo, anche rendendo disponibili standard aperti e linee guida specifiche.

In quest'ambito s'inserisce il lavoro svolto, che ha inteso perseguire tre principali obiettivi: dare un fattivo contributo all'implementazione del processo delle diagnosi energetiche in ambito open BIM attraverso la puntuale definizione del flusso di lavoro e delle informazioni con analisi delle problematiche presenti e indicazione sulle soluzioni possibili, indagare le possibilità di utilizzo delle informazioni contenute in un modello BEM di una diagnosi energetica già realizzata, anche in un processo BIM non strutturato ed, infine, definire gli input e la conoscenza necessaria per la predisposizione, nel proseguo della ricerca, delle linee guida delle diagnosi energetiche BIM.

Nel testo, dopo l'approfondimento della normativa tecnica che ha permesso di delineare gli indirizzi di interesse energetico e BIM (Capitolo 2), si illustra la metodologia IDM/MVD (Information Delivery Manual/Model Viewer Definition) scelta per individuare le possibili soluzioni per l'interoperabilità aperta tra software BIM e software BEM (Capitolo 3). Si descrive, poi, il modello energetico BEM e la diagnosi energetica effettuata, secondo le linee guida predisposte da ENEA, con un software di modellazione e analisi energetica, su un edificio per uffici sito nel comune di Roma scelto come caso studio (Capitolo 4). Si prosegue con l'analisi delle problematiche di esportazione delle informazioni in formato IFC dal modello BEM e, realizzato il modello BIM del caso studio con un software di authoring, si dettagliano le problematiche di esportazione/importazione delle informazioni in formato IFC del flusso BIM to BEM. Per ognuna delle analisi effettuate si riportano (ove possibile) proposte per la soluzione dei problemi e raccomandazioni per la corretta modellazione, utili all'interoperabilità del processo (Capitolo 5). Si approfondisce, poi, il processo informativo della diagnosi energetica nell'intero ciclo di vita dell'edificio volto all'implementazione di un IDM, secondo la metodologia IDM/MVD, arrivando a definire il work-flow e il flusso informativo della diagnosi energetica e i parametri minimi alla stessa necessari (Capitolo 6). Infine nel Capitolo 7 si esplicitano le indicazioni per l'interoperabilità piena del BIM delle diagnosi energetiche.

1 Introduzione

Il lavoro oggetto del presente report è stato svolto nell'ambito della seconda annualità dell'attività di ricerca "Applicazioni e criticità dei modelli BIM per le Diagnosi Energetiche" all'interno del Work Package relativo agli Edifici ad alta efficienza energetica (WP1), parte del progetto 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti", nell'ambito dell'Accordo di Programma 2019-2021, tra MiSE ed ENEA, per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale. Il triennio di ricerca si prefigge l'obiettivo di implementare il processo di analisi energetica di edifici esistenti ad elevate prestazioni energetiche in ambito BIM, al fine di favorire lo sviluppo delle diagnosi energetiche nel processo open BIM per la condivisione completa efficace ed automatica delle informazioni dell'analisi e simulazione energetica nella piattaforma interoperabile BIM.

Si inserisce in un contesto in cui, come evidenziato dall'analisi dell'utilizzo della metodologia BIM nel settore pubblico svolta nel corso della precedente annualità [1] e come confermato dal Rapporto Oice sulle gare BIM 2019 per opere pubbliche [38], vi è un crescente aumento dei bandi pubblici BIM (nel 2019 +58,3% sul totale del numero delle gare dell'anno precedente), non solo per quelli d'importo superiore alla soglia di obbligatorietà, ma anche relativamente a interventi d'importo notevolmente inferiore. Questo indica la volontà di alcune amministrazioni pubbliche di non arrivare impreparate al 2025, anno in cui tutti gli appalti pubblici, di qualsiasi importo, dovranno essere BIM. Certamente un impulso ancora più evidente dovrebbe aversi nel prossimo 2021 con l'abbassamento della soglia di obbligatorietà a 15 milioni di euro.

L'interoperabilità ancora parziale nello scambio informativo tra software, costringe attualmente i professionisti delle singole discipline a elaborare modelli separati con una possibilità parziale e non del tutto efficace di acquisizione automatica delle informazioni (prevalentemente di tipo geometrico), con spreco di tempo e denaro e possibile abbassamento della qualità dell'intero processo. Questo dilata i tempi di rientro dell'investimento iniziale (economico, di tempo e di risorse) e non rende immediatamente percepibili i benefici del BIM, soprattutto relativamente alla convenienza economica, sfavorendo fortemente l'utilizzo consapevole della metodologia.

La possibilità di eseguire l'analisi energetica in ambito BIM, grazie alla condivisione automatica delle informazioni tra software BIM e software BEM, agevolerebbe l'esecuzione delle analisi/simulazioni energetiche contestualmente agli studi di fattibilità del progetto consentendo di realizzare modelli energetici più completi e accurati che permetterebbero di effettuare scelte architettoniche consapevoli e ottimizzate anche con gli aspetti energetici, con riduzione degli errori e della duplicazione delle informazioni e, dunque, con conseguente risparmio economico e di tempo. L'impatto sul processo edilizio ha valenza maggiore, quanto più alte sono le prestazioni energetiche degli edifici e i riflessi positivi andrebbero oltre la fase di progettazione in quanto il modello energetico può essere utilizzato anche nelle fasi successive al progetto e possono essere molteplici le influenze e le connessioni dell'analisi energetica con le altre attività del processo edilizio.

In questo contesto s'inserisce l'attività del triennio di ricerca. Nel primo anno si è concentrata sull'analisi delle potenzialità e delle criticità dell'utilizzo del BIM nell'ambito delle analisi energetica per riqualificare gli edifici esistenti verso alti livelli di efficienza energetica e lo studio degli standard esistenti per verificarne la completezza e/o le carenze quando usati per la diagnosi energetica. Questo ha consentito di definire l'ambito di intervento e le azioni da intraprendere per il superamento delle criticità esistenti nello scambio informativo tra software BIM e software BEM, evidenziando la necessità di implementazione del processo di analisi energetica open BIM e di linee guida chiare che possano supportare tutti gli attori coinvolti nel processo.

Sulla base degli output della prima annualità, il presente lavoro si è concentrato sulla puntuale analisi e definizione del processo informativo delle Diagnosi Energetiche, al fine di individuare soluzioni in ottica open BIM per il superamento delle problematiche di interoperabilità nella condivisione automatica dei dati e delle informazioni tra i diversi applicativi software utilizzati lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio. A tal fine, nell'ottica di una interoperabilità piena non legata a specifici software proprietari, la metodologia che si è ritenuto opportuno utilizzare (metodologia IDM/MVD), si basa su uno standard internazionale e uno schema dati aperto (IFC - Industry Foundation Classes). Seguendo questa metodologia, una delle finalità che ci si è posti

con questo lavoro è di contribuire alla implementazione di un IDM (Information Delivery Manual) specifico per le diagnosi energetiche attraverso la definizione del work-flow e del flusso informativo del processo di diagnosi (mappa di processo) e attraverso la definizione dei parametri minimi necessari per l'esecuzione della diagnosi. La validazione sperimentale della metodologia è stata effettuata su un caso studio a destinazione uffici, utilizzato anche per le sperimentazioni e le analisi sulle esportazioni/importazioni delle informazioni mediante file IFC tra modelli BIM e modelli BEM.

Ma per studiare e valutare gli scambi informativi dal modello BEM alla piattaforma BIM sono state analizzate le problematiche di esportazione a partire dal modello energetico BEM appositamente realizzato nel software di modellazione/analisi energetica. Questo si è reso necessario per avere un modello energetico completo e correttamente eseguito, risultato che non si sarebbe ottenuto se, con l'attuale livello di interoperabilità, si fosse costruito il modello energetico importando il file IFC dal modello architettonico nativo. L'obiettivo di questa analisi è duplice: da un lato, indagare il flusso informativo finalizzato all'utilizzo degli output delle analisi/simulazioni energetiche per aggiornare il modello informativo del cespite immobile (AIM-Asset Information Model) nella piattaforma BIM interoperabile, per gli usi successivi del BIM nell'intero ciclo di vita dell'asset (es. progettazione energetica, valutazione impatto ambientale, stima dei costi, coordinamento dei modelli di progetto, ecc.); dall'altro per indagare le possibilità di utilizzo delle informazioni contenute in un modello BEM di una diagnosi energetica realizzato in assenza del modello architettonico, situazione ancora attualmente possibile nell'attuale livello di maturità del BIM.

Gli output di questa annualità faranno parte, nel proseguo della ricerca, del lavoro di implementazione delle linee guida per le diagnosi energetiche predisposte da ENEA con suggerimenti e raccomandazioni per l'applicazione della metodologia BIM alle procedure di Diagnosi Energetica (DE). Potrebbero, pertanto, subire revisioni/implementazioni a seguito dello studio approfondito per l'ottimizzazione dell'intera procedura di DE in ottica BIM.

Prima di proseguire si ritiene utile fare considerazioni sulle differenze tra analisi energetica e diagnosi energetica che nel testo capita si alternino. L'analisi energetica può essere effettuata sia su edifici nuovi sia su edifici esistenti. Nella progettazione di edifici nuovi, si esegue l'analisi energetica per stimare i fabbisogni, le potenze da installare e le soluzioni per rendere l'edificio più performante sotto l'aspetto energetico con valutazione costi/benefici. Quando svolta su edifici esistenti consente di identificare i flussi energetici dell'edificio e di capire come intervenire per migliorarne le prestazioni e i costi di gestione partendo da un puntuale rilievo e un'attenta analisi dei consumi e dei servizi energetici, ma a differenza della DE, l'analisi non deve necessariamente prospettare soluzioni per il miglioramento.

2 Normativa di riferimento

In questo paragrafo sono riportate le principali normative di riferimento in ambito energetico, in particolare per quanto attiene le diagnosi energetiche e gli standard di riferimento per la digitalizzazione del settore delle costruzioni.

2.1 Normativa di riferimento per le analisi energetiche

In questo paragrafo, sono elencate e introdotte sinteticamente alcune delle norme tecniche di riferimento nazionali e internazionali per le diagnosi energetiche definite ampliando l'elenco contenuto nelle Linee Guida per le DE negli edifici redatte da ENEA [2] e che saranno inserite nelle linee guida per le diagnosi energetiche BIM definite nel proseguo della ricerca.

Norme nazionali

UNI 10349-1:2016[1]	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata. La norma fornisce, per il territorio italiano, i dati climatici convenzionali necessari per la verifica delle prestazioni energetiche e termoigrometriche degli edifici, inclusi gli impianti tecnici per la climatizzazione estiva e invernale ad essi asserviti. La norma fornisce inoltre metodi di calcolo per: - ripartire l'irradianza solare oraria nella frazione diretta e diffusa; - calcolare l'energia raggiante ricevuta da una superficie fissa comunque inclinata ed orientata.
UNI/TS 11300-1:2014	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. La specifica tecnica fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. La specifica tecnica definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per umidificazione e per deumidificazione. La specifica tecnica è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio, che è la modalità di calcolo alla base delle diagnosi energetiche (*tailored rating*).
UNI 10200:2018	Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria - Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale, estiva ed acqua calda sanitaria. La norma stabilisce i criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale (riscaldamento), climatizzazione estiva (raffrescamento) ed acqua calda sanitaria (ACS) in edifici dotati di impianto centralizzato, provvisti o meno di dispositivi per

[1] Si ritiene opportuno ricordare che, le norme tecniche (ISO, EN, UNI…) sono volontarie: diventano obbligatorie se espressamente richiamate in dettati normativi cogenti, ovvero se espressamente citate all'interno di specifici contratti.

la contabilizzazione (diretta o indiretta) dell'energia termica utile, distinguendo i consumi volontari delle singole unità immobiliari da tutti gli altri consumi.

UNI 10838:1999 — Edilizia - Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia.

La norma contiene i termini e le definizioni relative alla qualità edilizia nei suoi aspetti generali e in quelli specifici: ambientali, funzionali, spaziali, tecnologici, tecnici, operativi e gestionali.

UNI/TR 11775:2020 — Diagnosi Energetiche - Linee guida per le diagnosi energetiche degli edifici

Il rapporto tecnico costituisce una linea guida per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici ad uso residenziale, terziario o altri assimilabili, e per l'applicazione della UNI CEI EN 16247-2 sulle diagnosi energetiche degli edifici (descritta nel paragrafo 2.1.2).

Norme internazionali

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

La norma definisce i requisiti, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche. Si applica a tutte le forme di aziende ed organizzazioni, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l'esclusione delle singole unità immobiliari residenziali. Definisce i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi energetiche.

UNI CEI EN 16247-2:2014 — Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici

La norma è applicabile alle diagnosi energetiche di edifici (descritta nel paragrafo 2.1.1).

UNI CEI EN 16247-5:2015 — Diagnosi energetiche - Parte 5: Competenze dell'auditor energetico

Questa norma definisce i requisiti di competenza di un auditor energetico e può essere utilizzata, ad esempio:

- per definire schemi nazionali di qualificazione della figura dell'auditor energetico;
- dalle organizzazioni, al fine di nominare un auditor energetico competente;
- per assicurare, applicandola insieme alle altre parti della serie EN 16247, un processo di diagnosi energetica di buona qualità.

UNI EN ISO 52016-1:2018 — Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo.

La norma specifica i metodi di calcolo per la valutazione:

a) del fabbisogno energetico (sensibile) per riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli orari o mensili;
b) del fabbisogno di energia latente per (de-)umidificazione, basato su calcoli orari o mensili;

c) della temperatura interna, basata su calcoli orari;
d) del carico sensibile di riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli orari;
e) dell'umidità e del carico di calore latente per (de-)umidificazione, basato su calcoli orari;
f) del carico sensibile di riscaldamento o raffrescamento di progetto e del carico latente di riscaldamento di progetto, utilizzando un intervallo di calcolo orario;
g) delle condizioni dell'aria di rinnovo per fornire l'umidificazione e la deumidificazione necessarie.

I metodi di calcolo possono essere utilizzati per edifici residenziali e non.

UNI EN 15459-1:2018	Prestazione energetica degli edifici - Sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento idronici negli edifici - Parte 1: Procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici, Modulo M1-14. La presente norma fornisce un metodo di calcolo per le questioni economiche dei sistemi di riscaldamento e di altri sistemi che sono coinvolti nella domanda e nel consumo di energia dell'edificio. Si applica a tutti i tipi di edifici nuovi ed esistenti e spiega i principi e la terminologia fondamentali.
UNI EN 15316-1:2018	Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo delle richieste di energia e delle efficienze del sistema - Parte 1: Generalità ed espressione della prestazione energetica, Moduli M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4. La norma è il quadro generale per il calcolo del consumo di energia e delle prestazioni energetiche dei sistemi di riscaldamento e dell'acqua calda sanitaria. Questo standard riguarda solo il calore, fornito da sistemi idronici, necessari per il riscaldamento, l'acqua calda sanitaria e il raffreddamento (ad esempio, il refrigeratore ad assorbimento). Specifica, inoltre, come eseguire il calcolo dell'intera installazione utilizzando i moduli di calcolo corrispondenti ai metodi definiti nei rispettivi standard.

Riferimenti legislativi

D. Lgs. 102/2014	Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
D. Lgs. 141/2016	Disposizioni integrative al decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102.
D. Lgs. 192/2005	Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
D. M. 26/06/2015	Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

In quanto importanti per le attività oggetto di questo lavoro (modellazione BEM, definizione del processo informativo della DE) vengono di seguito maggiormente descritte le principali norme attinenti le diagnosi energetiche: la UNI CEI EN 16247 Parte 2, che definisce i requisiti per diagnosi energetiche relative agli edifici e la UNI/TR 11775, contenente le linee guida per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici, che verrà

messa a confronto con un altro documento tecnico (non normativo) preso a riferimento in questo lavoro per la realizzazione di diagnosi energetiche [2].

2.1.1 UNI CEI EN 16247:2014, Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici

La serie delle UNI CEI EN 16247:2014 è il recepimento italiano delle EN 16247, pubblicate da CEN e CENELEC (gruppo di lavoro congiunto CEN/CLC JWG 1 "Energy Audits") ed è costituita da 5 parti[2] che stabiliscono a livello Europeo i requisiti e forniscono le indicazioni per effettuare audit energetici. Ad oggi queste norme sono in fase di revisione.

Tra tutte un approfondimento maggiore merita la UNI CEI EN 16247-2 che si applica alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici in quanto le linee guida oggetto della nostra ricerca ne costituiscono un dettaglio per la loro applicazione. È la versione ufficiale italiana della norma europea EN 16247-2 (edizione maggio 2014) e ha lo scopo di armonizzare gli aspetti comuni del processo di diagnosi energetica di un edificio o di un gruppo di edifici (escludendo le singole residenze private) e ne definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica, rimandando alla normativa tecnica o legislativa il dettaglio degli aspetti applicativi. Deve essere applicata congiuntamente alla UNI CEI EN 16247-1, rispetto alla quale fornisce ulteriori requisiti e integrazioni.

Obiettivo della EN 16247-2 è l'analisi del fabbisogno di energia necessario al sistema edificio-impianto identificando le opportunità di miglioramento. Per il consumo energetico dovranno tenersi in considerazione:

- condizioni climatiche locali reali (non quelle standardizzate);
- caratteristiche dell'involucro;
- condizioni progettuali dell'ambiente interno;
- caratteristiche e regolazione dei sistemi tecnologici;
- comportamento effettivo degli occupanti e regime reale di funzionamento (*tailored raiting*).

Per definire la procedura di diagnosi energetica nel dettaglio è, quindi, necessario lo sviluppo di specifica normativa tecnica.

2.1.2 Linee guida sulle diagnosi e rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020

Nel presente paragrafo saranno descritte, mettendole a confronto, sia le linee guida per le diagnosi energetiche predisposte da ENEA per gli edifici ad uso residenziale, terziario o altri assimilabili [2] sia il rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 [3]. Come più volte detto, lo scopo finale dell'attività di ricerca è, nel proseguo, l'integrazione delle linee guida [2] con suggerimenti e raccomandazioni per standardizzare l'applicazione della metodologia BIM alle procedure di Diagnosi Energetica (DE), quindi le linee guida saranno puntualmente approfondite e dettagliate nel corso della prossima annualità di ricerca.

Naturalmente, queste linee guida sono state anche prese a riferimento per la realizzazione della diagnosi energetica dell'edificio di studio, che sarà descritto in maniera dettagliata al paragrafo 4 e a partire dal quale si sono portate avanti le analisi sulle problematiche di interoperabilità Open BIM di cui al paragrafo 5.

Ai fini del lavoro oggetto del presente documento, si evidenziano di seguito gli aspetti principali che sono utili alla definizione del processo di DE secondo la metodologia BIM, relativamente alle fasi di esecuzione

[2] Le 5 parti sono elencate di seguito:
- UNI CEI EN 16247-1, che definisce i requisiti generali;
- UNI CEI EN 16247-2, che definisce i requisiti per diagnosi energetiche relative agli edifici;
- UNI CEI EN 16247-3, che definisce i requisiti per diagnosi energetiche relative ai processi industriali;
- UNI CEI EN 16247-4, che definisce i requisiti per diagnosi energetiche relative ai trasporti;
- UNI CEI EN 16247-5, che definisce i requisiti di competenza di un auditor energetico.

dell'attività delle diagnosi, agli attori coinvolti e alle informazioni necessarie nei vari momenti del processo, punti che saranno ripresi e ampliati nel capitolo 6.

Le linee guida [2] sulle diagnosi energetiche sono state predisposte e rese disponibili gratuitamente da Enea nell'ambito del Progetto ES-PA "Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione" [4]. Successivamente, nel marzo del 2020, è stato emanato dall'UNI – Ente Italiano di Normazione - il rapporto tecnico UNI/TR 11775 [3], che costituisce una linea guida per l'applicazione delle UNI CEI EN 16247-2, con l'intento di fornire una procedura per l'esecuzione delle diagnosi energetiche degli edifici ad uso residenziale, terziario ed altri assimilabili.

L'analisi comparata dei due documenti ha dimostrato una uguaglianza pressoché totale in tutti gli aspetti inerenti i contenuti e il processo.

Nel proseguo del lavoro, ove non diversamente specificato, si farà riferimento alle linee guida per le diagnosi energetiche predisposte da ENEA [2], partendo anche dal dato di fatto che queste sono parte integrante di linee guida approvate e validate in ambito CTI ed UNI [3].

Le due principali definizioni presenti in normativa per la diagnosi energetica, ovvero:

- Definizione UNI CEI EN 16247-1**:** "*Ispezione sistematica ed analisi degli usi e consumi dell'energia di un sito, di un sistema o di una organizzazione finalizzata ad identificare i flussi energetici ed il potenziale per miglioramenti dell'efficienza energetica ed a riferire in merito ai risultati".*

- Definizione D.Lgs. 102/2014 e s.m.i: "*Procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi - benefici e a riferire in merito ai risultati".*

La Diagnosi Energetica porta alla definizione di un modello energetico dell'edificio validato attraverso il confronto con i consumi reali e all'indicazione delle possibili soluzioni per il miglioramento della prestazione energetica con analisi costi-benefici. Il modello può essere utile alla stima dei fabbisogni e risulta fondamentale nell'analisi degli interventi migliorativi, in particolare per quelli interferenti, per i quali gli effetti delle misure di efficienza energetica devono essere valutate contestualmente.

Si ritiene che l'aspetto più di rilievo delle linee guida, che gioca a favore nell'ottica della futura implementazione BIM, sia la garanzia di omogeneità di esecuzione della DE che apporta, perché conducono passo dopo passo e in maniera chiara e univoca i REDE (REferente della Diagnosi Energetica) nello svolgimento delle attività. Infatti, la procedura da seguire e tutti i passaggi di cui si compone sono definiti e descritti in maniera dettagliata, con particolare attenzione per la più complessa fase di analisi (costruzione dell'inventario energetico, calcolo degli indicatori di prestazione energetica, individuazione degli interventi di miglioramento della prestazione energetica, implementazione delle simulazioni del comportamento del sistema edificio-impianto e analisi costi-benefici degli interventi).

Le linee guida prendono in considerazione i servizi energetici[3] dell'edificio e forniscono indicazioni e modalità operative per:

- la raccolta e l'analisi delle spese energetiche (si raccomanda l'analisi di dati di almeno 3 anni);
- la raccolta e l'analisi delle documentazioni tecniche disponibili e la definizione dei controlli e delle verifiche edili e impiantistiche;
- la definizione dei fattori di aggiustamento dei consumi fatturati;
- l'analisi dei servizi energetici;
- la costruzione dell'inventario energetico;

[3] In "termini e definizioni" delle linee guida [2] sono definiti **servizi energetici**: "*Servizi, forniti dai sistemi tecnici presenti nell'edificio, al fine di condizionare l'ambiente interno, in termini di vivibilità, salubrità e mobilità. Sono servizi energetici: climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, ventilazione, illuminazione, produzione di acqua calda sanitaria e trasporto di persone*".

- il calcolo degli indicatori di prestazione energetica;
- l'individuazione di azioni di miglioramento dell'efficienza energetica;
- l'analisi costi-benefici;
- la valutazione della priorità degli interventi.

Al paragrafo 6.1 delle linee guida sono definiti, a titolo esemplificativo, i soggetti che possono essere coinvolti nella DE di un edificio e ne viene indicato il loro ruolo nei vari momenti del processo. Da qui si è partiti per l'individuazione degli attori coinvolti (paragrafo 6.2.3) nella mappa di processo informativo BIM identificato e descritto nel paragrafo 6.2.5.

I 5 requisiti fondamentali (nel rapporto tecnico UNI/TR 11775 ne viene introdotto un sesto) che il processo di DE deve possedere:

- **Completezza** nella descrizione del sistema energetico dell'edificio;
- **Attendibilità/rappresentatività** nell'acquisizione di dati affidabili e pertinenti per l'inventario energetico;
- **Tracciabilità**, per un'agevole individuazione delle fonti di dati, delle modalità di elaborazione dei risultati e delle ipotesi di lavoro assunte;
- **Utilità**, intesa nell'accezione di identificazione e valutazione degli interventi di efficienza energetica sotto il profilo costi/benefici;
- **Verificabilità** inerente il conseguimento dei miglioramenti d'efficienza dopo gli interventi proposti;
- **Adeguatezza** (Requisito *aggiunto dalla UNI/TR 11775*), per la completa e piena rispondenza della procedura alle condizioni contrattuali.

È importante evidenziare che, nel processo BIM, questi fanno parte dei requisiti informativi che il committente dovrebbe definire nei documenti predisposti per il processo di gestione delle informazioni (paragrafo 2.2.1), in particolare nel CI - Capitolato Informativo e dovrebbero essere dettagliati dal soggetto incaricato nel piano di Gestione Informativa (pGI) (paragrafo 2.2.2).

La parte 7 delle linee guida definisce la "Procedura di Diagnosi Energetica", secondo quanto previsto dalla norma UNI CEI EN 16247-2 (paragrafo 2.1.1), con puntuale descrizione delle singole fasi di cui si compone. L'analisi di questa parte è riportata nel paragrafo 6.2.4, essendo la base di partenza per la definizione della mappa processo DE.

A supporto dell'attività del REDE, in allegato alle Linee guida, vengono fornite delle schede di rilievo da utilizzare come traccia per l'individuazione delle informazioni da reperire per lo svolgimento della diagnosi (in Allegato 1 per edifici scolastici e in Allegato 2 per gli uffici) e un format di rapporto tecnico di diagnosi energetica (Allegato 3) che può essere adattato alle esigenze di diagnosi e alla situazione specifica. Il rapporto tecnico UNI/TR 11775 riporta la stessa Appendice A e in Appendice B l'indice della relazione tipo di DE, in alcuni punti più dettagliato che nel format di report in Allegato 3 delle linee guida.

2.2 *Normativa di riferimento per il Building Information Modelling*

In questo paragrafo si riportano le norme tecniche relative al Building Information Modeling che hanno rilevanza ai fini dell'attività di ricerca e che saranno elencate nelle future linee guida per le Diagnosi Energetiche in ambiente BIM.

Per completezza si riportano i Technical Committee (TC o Commissioni UNI/CT) e relativi Sub Commitee (SC o Sottocommissione SC) / Working Group (WG o Gruppi di lavoro GL) per la digitalizzazione del settore costruzioni ed il mondo BIM che, a livello ISO, CEN e UNI sono rispettivamente: ISO/TC 59/SC13/WG13; CEN TC442/WG1-6; UNI TC33/SC05/WG1-8 [7].

A livello internazionale, le norme di riferimento per la gestione informativa del processo BIM sono quelle della serie ISO 19650 parte 1-5. Sono state emanate progressivamente, a partire da dicembre 2018, con la sola

eccezione della parte 4 che è ancora in fase di sviluppo. Quelle emanate sono tutte recepite a livello Europeo dal CEN - Comitato Europeo di Normazione (acquisendo il suffisso EN). In Italia, l'UNI ha recepito, a partire da marzo 2019, la UNI EN ISO 19650-1, la UNI EN ISO 19650-2 e la UNI EN ISO 19650-5, mentre la UNI EN ISO 19650-3 è attualmente in fase di recepimento.

Nel dettaglio, le parti di cui si compone la ISO 19650, intitolata "*Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling*" sono:

UNI EN ISO 19650-1:2019	Parte 1: Concetti e principi. Approfondimento nel Paragrafo 2.2.1.
UNI EN ISO 19650-2:2019	Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili. Approfondimento nel Paragrafo 2.2.1.
EN ISO 19650-3:2020	Part 3: Operational phase of the assets[4]. La norma specifica i requisiti per la gestione delle informazioni, sotto forma di processo di gestione, nell'ambito della fase operativa degli *asset* e degli scambi di informazioni al suo interno, utilizzando il Building Information Modeling. Può essere applicata a tutti i tipi di *asset* e da ogni tipo e dimensione di organizzazioni coinvolte nella fase operativa degli *asset*. I requisiti di questa norma possono essere raggiunti attraverso azioni dirette svolte dall'organizzazione in questione o essere delegati ad una parte terza.
ISO 19650-4 (in fase di lavorazione)	Part 4: Information exchange. La norma fornisce un iter dettagliato e i criteri decisionali nel processo di esecuzione di uno scambio d'informazioni all'interno dell'*information management* come definito dalla ISO 19650. Promuove un approccio sostenibile allo scambio di informazioni laddove la consegna immediata delle informazioni non ne precluda l'uso futuro. È applicabile a qualsiasi scambio di informazioni all'interno delle fasi del progetto (ISO 19650 parte 2) e durante gli eventi in uso (ISO 19650 parte 3). Tutti gli sviluppi e gli scambi di informazioni devono essere eseguiti sotto idonei controlli di sicurezza (ISO 19650 parte 5). La parte 4 supporta la soddisfazione di uno specifico Requisito di scambio informativo (ovvero requisito informativo relativo allo specifico incarico) incarico) EIR/AIR (Exchange Information Requirements/Asset Information Requirements) relativa ad uno specifico scambio di informazioni di qualsiasi tipo di informazione elencando i criteri relativi a: completezza, conformità a schemi di scambio formali, continuità dei concetti tra gli scambi e l'eliminazione dei conflitti dello spazio e delle specificazioni.
UNI EN ISO 19650-5:2020 (Recepita ma non ancora tradotta in italiano)	Parte 5: Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa La norma specifica i principi e i requisiti per la gestione sicura delle informazioni allo stadio di maturità descritto come BIM secondo la serie ISO 19650 e come previsto dalla ISO 19650-1, nonché la gestione orientata alla sicurezza delle informazioni sensibili ottenute, create, elaborate e archiviate come parte di, o in relazione a, qualsiasi altra iniziativa, progetto, risorsa, prodotto o servizio.

[4] Come già sottolineato, non esiste un titolo in lingua italiana, essendo ancora in corso l'iter di recepimento.

La norma affronta i passaggi necessari per creare e coltivare una mentalità e una cultura della sicurezza appropriate e proporzionate tra le organizzazioni con accesso a informazioni sensibili, inclusa la necessità di monitorare e verificare la conformità.

L'approccio delineato è applicabile a tutto il ciclo di vita di un'iniziativa, progetto, risorsa, prodotto o servizio, pianificato o esistente, in cui le informazioni sensibili sono ottenute, create, elaborate e/o archiviate.

La norma è destinata a qualsiasi organizzazione coinvolta nella gestione delle informazioni e delle tecnologie durante la creazione, la progettazione, la costruzione, la produzione, il funzionamento, la gestione, la modifica, il miglioramento, la demolizione e/o il riciclaggio di cespiti immobili o prodotti, nonché la fornitura di servizi all'interno dell'ambiente costruito. Sarà anche di interesse e rilevanza per quelle organizzazioni che desiderano proteggere le loro informazioni commerciali, informazioni personali e proprietà intellettuale.

Altre norme internazionali, recepite in Italia, riguardanti nello specifico la condivisione dei dati e lo scambio di informazioni in ambiente BIM sono le seguenti:

UNI EN ISO 16739-1:2020 Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management - Parte 1: Schema di dati.

La norma include le definizioni che trattano i dati richiesti per l'intero ciclo di vita di un'opera edilizia, incluso le infrastrutture.

La ISO 16739-1 è costituita dallo schema dei dati, rappresentato come uno schema di specifica EXPRESS (che rappresenta la fonte del liguaggio) e uno schema XML (generato dallo schema EXPRESS), e dai dati di riferimento, rappresentati come proprietà, nomi delle quantità e descrizioni formali e informative.

UNI EN ISO 29481-1:2017 Modelli di informazioni di edifici - Guida per lo scambio di informazioni - Parte 1: Metodologia e formato.

Recepimento della ISO 29481-1:2016 – Building information models – Information delivery manual – part 1: methodology and format.

La ISO 29481-1:2016 specifica:

- una metodologia che collega le procedure aziendali intraprese durante la costruzione di opere edili con le specifiche informazioni richieste da questi processi;
- un modo per mappare e descrivere i processi informativi in tutto il ciclo di vita delle opere edilizie.

La ISO 29481-1:2016 è destinata a facilitare l'interoperabilità tra le applicazioni software impiegate durante tutte le fasi del ciclo di vita delle opere edilizie, incluse le operazioni preliminari, progettazione, documentazione, costruzione, funzionamento e mantenimento, e demolizione. Essa promuove la collaborazione digitale tra gli attori del processo edilizio e fornisce una base per lo scambio di informazioni accurato, affidabile, ripetibile e di alta qualità.

Alcune delle norme di rilievo emanate a livello Europeo sono:

EN 17472-1:2020 (Previsto recepimento da parte dell'UNI nel 2021)	Building Information Modelling - Level of Information Need - Concepts and principles. La norma definisce concetti e principi della metodologia per dettagliare il livello di fabbisogno informativo e le consegne delle informazioni, in breve fornisce linee guida per i principi richiesti per specificare le esigenze di informazione.
prEN 17473 (non pubblicata)	Building information modelling (BIM) - Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset - Data templates based on harmonised technical specifications under the Construction Products Regulation (CPR). Questo progetto di norma definisce una metodologia e un processo per creare modelli di dati per prodotti da costruzione identificati da specifiche tecniche armonizzate.

L'insieme ISO 19650 si prefigge l'obiettivo di uniformare a livello internazionale le specifiche tecniche inerenti la digitalizzazione dell'industria delle costruzioni dettando linee di indirizzo generali, ma prevedendo anche la possibilità di normative a livello nazionale che dettaglino aspetti non completamente definiti nella ISO, sulle quali si pone con principio di preminenza relativamente a possibili interferenze o incongruenze.

In Italia le norme di dettaglio son quelle della serie delle UNI 11337 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni". Dunque, le norme internazionali della serie delle UNI EN ISO 19650 si applicano congiuntamente alla serie delle UNI 11337 che, in tutte le sue parti pubblicate, ne costituiscono parte integrante. Le UNI 11337 sono, infatti, in fase di completamento da parte dell'UNI oltre che in fase di revisione per uniformarle alla norma preminente per le parti con la stessa discordanti.

La UNI 11337 è composta dalle seguenti parti:

UNI 11337-1:2017	Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi La norma interessa gli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore delle costruzioni, quali: - la struttura dei veicoli informativi; - la struttura informativa del processo; - la struttura informativa del prodotto. La norma è applicabile a qualsiasi tipologia di prodotto (risultante) di settore, sia esso un edificio o una infrastruttura, e a qualsiasi tipologia di processo: di ideazione, produzione od esercizio. Siano essi rivolti alla nuova costruzione come alla conservazione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.
UNI 11337-2 (non pubblicata)	Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi
UNI/TS 11337-3:2015	Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione La specifica tecnica, a carattere di guida ed indirizzo, ha lo scopo di indicare un modello operativo strutturato per raccogliere e archiviare i dati e le informazioni tecniche dei prodotti da costruzione. In particolare, per un qualsiasi prodotto da costruzione è prevista: - la descrizione qualitativa (caratteristiche tipologiche, tecnologiche, prestazionali e commerciali) non definibile attraverso un criterio misurabile e codificabile; - la descrizione quantitativa (caratteristiche tipologiche, tecnologiche, prestazionali e commerciali) definibile attraverso un criterio di misurazione.

Il modello è utilizzabile dalle varie categorie di operatori congiuntamente al modello di guida alla corretta posa in opera, installazione, manutenzione, trasporto, movimentazione e dismissione.

Il campo di applicazione della specifica tecnica riguarda il settore dell'edilizia, delle costruzioni e la sua filiera.

UNI 11337-4:2017 — Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti

La norma interessa gli aspetti qualitativi e quantitativi della gestione digitalizzata del processo informativo nel settore delle costruzioni, a supporto del processo decisionale, con lo scopo di:

- specificare gli obiettivi di ciascuna delle fasi di un processo (numerate da 0 a 7) introdotte nella UNI 11337-1. Il modello, gli oggetti e gli elaborati informativi hanno carattere strumentale al raggiungimento di tali obiettivi;
- definire una scala comune di livello di sviluppo informativo degli oggetti relativi ai modelli;
- definire una scala comune di stati di lavorazione e di approvazione del contenuto informativo.

La presente norma è applicabile a qualsiasi tipologia di prodotto (risultante) di settore (sia esso un edificio, una infrastruttura, un intervento territoriale – ad esempio un bacino, una scogliera, ecc.) e a qualsiasi tipologia di processo (di ideazione, di produzione o di esercizio) per interventi di nuova costruzione e di conservazione, demolizione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.

UNI 11337-5:2017 — Parte 5: Flussi informativi nei processi digitalizzati

La norma definisce i ruoli, le regole ed i flussi necessari alla produzione, gestione e trasmissione delle informazioni e la loro connessione e interazione nei processi di costruzione digitalizzati.

(Nella ISO 19650: OIR, PIR, PIM, CI, oGI, pGI – Paragrafo 2.2.1)

UNI/TR 11337-6:2017 — Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo

Il rapporto tecnico fornisce una linea guida per la stesura del capitolato informativo come presentato nella UNI 11337-5. Esso fornisce indicazioni procedurali e uno schema generale dei contenuti del capitolato informativo. Il documento può essere applicato a capitolati informativi destinati a qualsiasi tipologia di prodotto risultante di settore, sia esso un edificio o una infrastruttura, di nuova costruzione o conservazione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.

UNI 11337-7:2018 — Parte 7: Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa

La norma stabilisce i requisiti relativi all'attività professionale delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa. Tali requisiti sono identificati con la suddivisione tra compiti e attività specifiche svolte dalla figura professionale in termini di conoscenza, abilità e competenza secondo il quadro europeo delle qualifiche (EQF). I requisiti sono indicati sia per consentire la valutazione dei risultati dell'apprendimento informale e non formale e sia ai fini di valutazione di conformità delle competenze.

UNI 11337-8 (non pubblicata) — La norma sviluppa le linee guida di applicazione del BIM ai processi di settore.

UNI 11337-9 (non pubblicata)	La norma verranno normati: la raccolta e verifica delle informazioni (Due Diligence), il rilievo digitali, le regole di costruzione delle "Piattaforme di Collaborazione" aziendali e il "Fascicolo del Costruito" digitale che supera il fascicolo del fabbricato in quanto si estende anche alle infrastrutture e all'ambiente antropomorfo non solo all'edilizia e comprende la gestione informativa in esercizio lungo il ciclo di vita.
UNI 11337-10 (non pubblicata)	La norma affronta le nuove tematiche del BIM verso gli aspetti di gestione amministrativa (cosiddetto "E-permit")

Per alcune norme si è ritenuto opportuno esplicitare gli aspetti che hanno maggiore influenza ai fini di questo lavoro: di seguito si riporta un approfondimento delle norme che interessano in generale tutti gli aspetti trattati nel testo (UNI EN ISO 19650:2019 1-2 Paragrafo 2.2.1, UNI 11337 Paragrafo 2.2.2 e EN 17412-1:2020 Paragrafo 2.3), mentre la UNI EN ISO 29481-1:2017 viene dettagliata nel Paragrafi 3.2 e nel Capitolo 6 in quanto, prevalentemente, si riferisce alle specifiche attività in essi trattate (metodologia IDM/MVD e implementazione di IDM).

2.2.1 UNI EN ISO 19650:2019

La UNI EN ISO 19650 definisce linee di indirizzo generali per quanto attiene la digitalizzazione dell'industria delle costruzioni e si pone come riferimento per tutte le altre specifiche tecniche sul tema. L'approfondimento che segue vuole riportare gli aspetti di maggiore interesse per quanto attiene l'attività di ricerca svolta al fine anche di evidenziare gli aspetti di novità introdotti.

La ISO 19650 eredita molti concetti da due specifiche tecniche PAS[5] britanniche, in particolar modo dalla PAS 1192-2:2013 (non più in vigore e sostituita proprio dalla 19650) e dalla PAS 1192-3:2014, e interviene sulla gestione informativa tramite BIM dell'intero processo edilizio per commesse di qualsiasi dimensione e complessità.

La norma si riferisce al processo di gestione informativa mediante la metodologia BIM che colloca nel contesto degli altri processi aziendali formalizzati di gestione *dell'asset* e gestione organizzativa come esemplificato nella Figura 1 e ne riconosce il ruolo fondamentale partendo dal principio che la **disponibilità di informazioni[6] di qualità è requisito primario** perché si possano prendere decisioni consapevoli e ottimizzate durante l'intero ciclo di vita del cespite immobile. In sintesi, la gestione di informazioni di qualità ha come presupposto fondamentale la capacità del soggetto proponente di richiedere le informazioni (specifica dei requisiti informativi e piano di consegna delle informazioni), la capacità dei soggetti incaricati di fornire le informazioni e, infine, la capacità del committente di acquisire e approvare le informazioni stesse.

A tal fine la UNI EN ISO 19650 parte 1 definisce i concetti e i principi fondamentali dell'intero processo informativo, dei metodi di consegna e dell'organizzazione della struttura produttiva.

Il processo di gestione informativa lungo l'intera vita del bene costruito secondo la norma è un processo ciclico diviso in due parti (Figura 1): una relativa alla fase di consegna (progettazione e costruzione dell'opera) con produzione dei Modelli Informativi di Commessa (PIM, Project Information Model), ed una relativa alla fase di

[5] La PAS (Publicly Available Specification) è un documento di standardizzazione pubblicato dal BSI Group, organismo di standardizzazione del Regno Unito: è simile ad una norma tecnica nella struttura e nella forma, ma ha un percorso di sviluppo più rapido, spesso adottato per far fronte a delle specifiche esigenze di urgenza provenienti dal mercato.

[6] Il punto 3.3.1 della UNI EN ISO 19650-1 definisce "**Informazione**: Rappresentazione reinterpretabile di dati in un modo formalizzato, idoneo per la comunicazione, l'interpretazione o l'elaborazione".

gestione e manutenzione durante la quale vengono prodotti i Modelli informativi[7] del cespite immobile (AIM, Asset Information Model).

Per quanto riguarda la specifica dei Requisiti informativi[8] e dei modelli informativi risultanti (capitolo 5 della UNI EN ISO 19650-1), l'aspetto innovativo principale pone l'accento sulla necessità prioritaria della puntuale definizione degli obiettivi del soggetto proponente sia a livello alto dell'organizzazione aziendale, sia per quanto concerne la commessa. Compaiono una serie di documenti che definiscono i requisiti informativi dell'organizzazione, della commessa e del bene, rispettivamente OIR (Organization Information Requirements), PIR (Project Information Requirements) e AIR (Asset Information Requirements), di livello superiore ai Requisiti di scambio delle informazioni (EIR- Exchange Information Requirements, che nella UNI 11337 è il Capitolato Informativo - CI), e che risultano essere necessari per la corretta definizione dell'EIR stesso. Lo schema esemplificativo estratto dalla UNI EN ISO 19650 (Figura 2) mette in connessione la definizione dei requisiti informativi (parte sinistra del grafico) e l'elaborazione dei modelli (parte destra).

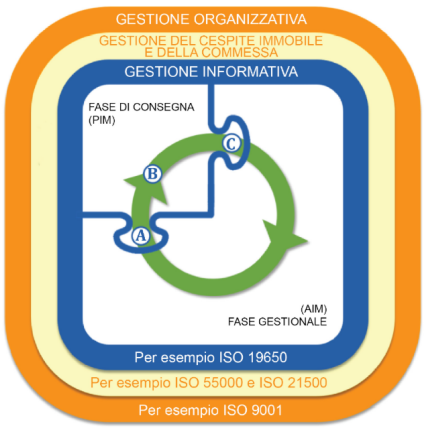


Figura 1: Gestione informativa tramite BIM (Fonte: Figura 3 UNI EN ISO 19650-1)

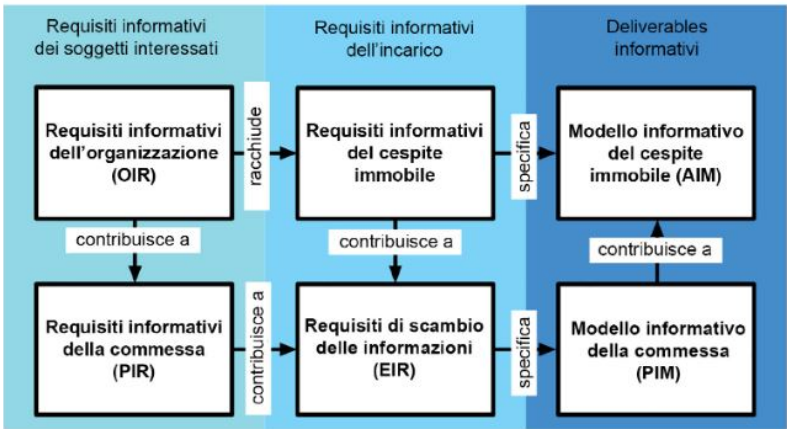


Figura 2: Gerarchia dei requisiti informativi (Fonte: Figura 2 UNI EN ISO 19650-1)

Seguendo il flusso informativo in orizzontale, nella parte superiore è rappresentata l'evoluzione dei requisiti informativi riferiti al cespite immobile durante il funzionamento dello stesso: si parte dai Requisiti informativi della organizzazione (OIR) che esplicitano gli obiettivi strategici di alto livello del soggetto proponente e si passa ai requisiti informativi del cespite immobile (AIR) che esprimono le necessità informative dello specifico immobile per supportare le strategie aziendali: la risposta a questi requisiti definisce il modello informativo del cespite immobile (AIM, Asset Information Model) utilizzato durante l'uso, gestione e manutenzione del bene costruito e può essere identificato come il modello informativo dell'esistente.

Nella parte inferiore del grafico in Figura 2 è rappresentata l'evoluzione dei requisiti informativi di una specifica commessa per le fasi di progettazione e realizzazione del bene: dal PIR (Project Information Requirements, o requisiti informativi della commessa) che identifica le informazioni necessarie per implementare gli obiettivi strategici di alto livello di una determinata commessa anche in risposta all'OIR, vengono elaborati, tipicamente

[7] Il punto 3.3.8 della UNI EN ISO 19650-1 definisce "**Modello informativo**: insieme di **contenitori informativi** strutturati (modelli geometrici, prospetti, e basi di dati) e non strutturati (documenti, video clip e registrazioni sonore).
Il punto 3.3.12 definisce "**Contenitore informativo**: Insieme coerente denominato di informazioni recuperabili all'interno di un file, di un sistema o di una struttura gerarchica. Comprende sottodirectory, file di informazioni (incluso il modello, il documento, la tabella, il prospetto), o un sottoinsieme distinto di un file di informazioni come un capitolo o sezione, livello o simbolo.

[8] Il punto 3.3.2 della UNI EN ISO 19650-1 definisce "**Requisito informativo**: specifica di che cosa, quando, come e per chi è prodotta l'informazione".

per la fase di gara, i Requisiti di Scambio delle Informazioni[9] (EIR, Exchange Information Requirements) in risposta anche delle esigenze espresse nell'AIR per fornire una descrizione in termini non tecnici delle informazioni da scambiare; la risposta a questi requisiti porta alla creazione da parte dei soggetti incaricati dei modelli informativi della specifica commessa (PIM, Project Information Model) da utilizzare durante la progettazione, produzione e messa in opera del bene costruito.

Questo scambio informativo è ciclico e si attiva per ogni evento scatenante[10]: il PIM nelle varie fasi della vita dell'immobile fornisce le informazioni necessarie prima per creare l'AIM e poi per mantenerlo aggiornato.

Per l'intero ciclo di vita del bene costruito, gli scambi informativi avvengono -seguendo il Piano di Consegna delle Informazioni- all'interno di un **Ambiente di Condivisione dei Dati** (ACDat per la UNI EN ISO 11337 e Common Data Environment, CDE, per la ISO 19650), ovvero una piattaforma di condivisione e di scambio dove i partecipanti coinvolti possono acquisire le informazioni aggiornate di cui necessitano e dove possono esportare le informazioni prodotte, secondo formati aperti e procedure condivise (Open BIM). Gli ambienti di condivisione dei dati sono almeno due: uno del committente/proponente, da approntare già in fase di gara e uno del soggetto incaricato. Ogni modello gestito all'interno del CDE deve essere identificato dai codici di Stato (per indicare l'adeguatezza), di Revisione (per tenere traccia della storia) e di Classificazione (per indicare gli usi ammessi dell'informazione). Attuando protocollo di verifica rispetto ai requisiti informativi adottati, i modelli e le informazioni passano all'interno del CDE attraverso, come minimo, i quattro stadi: di elaborazione, di condivisione, di pubblicazione, di archiviazione[11], definendo così, ad ogni passaggio, momenti di controllo atti ad attestare l'adeguatezza delle informazioni per la specifica fase [39].
La Figura 3 schematizza e riepiloga i concetti e i principi fondamentali del processo di gestione delle informazioni della UNI EN ISO 19650-1.

[9] Il punto 3.3.6 della UNI EN ISO 19650-1 definisce "**Requisiti di Scambio delle Informazioni EIR (CI - Capitolato Informativo nella UNI 11337)**: Requisiti informativi in relazione a un incarico".

[10] Il punto 3.2.13 della UNI EN ISO 19650-1 definisce "Evento scatenante: evento pianificato o non pianificato che modifica un cespite immobile ho il suo stato durante il suo ciclo di vita dando luogo a uno scambio di informazioni".

[11] Stato di elaborazione: i documenti vengono presi in carica all'interno dell'ACDat. Le informazioni sono in fase di sviluppo da parte dei gruppi incaricati e non sono visibili o accessibili ad altri.
Stato di condivisione: una volta verificati, i dati vengono resi disponibili a tutti i soggetti incaricati o con il soggetto proponente, secondo modalità determinate dalla natura dell'incarico.
Stato di pubblicazione: i modelli e gli elaborati possono essere infine utilizzati per lo scopo preposto (progettazione più dettagliata, costruzione, gestione del cespite immobile).
Stato di archiviazione: l'archiviazione dei dati è utile per avere una memoria storica della commessa, in casi di controversia o per essere riutilizzata nello sviluppo della commessa.

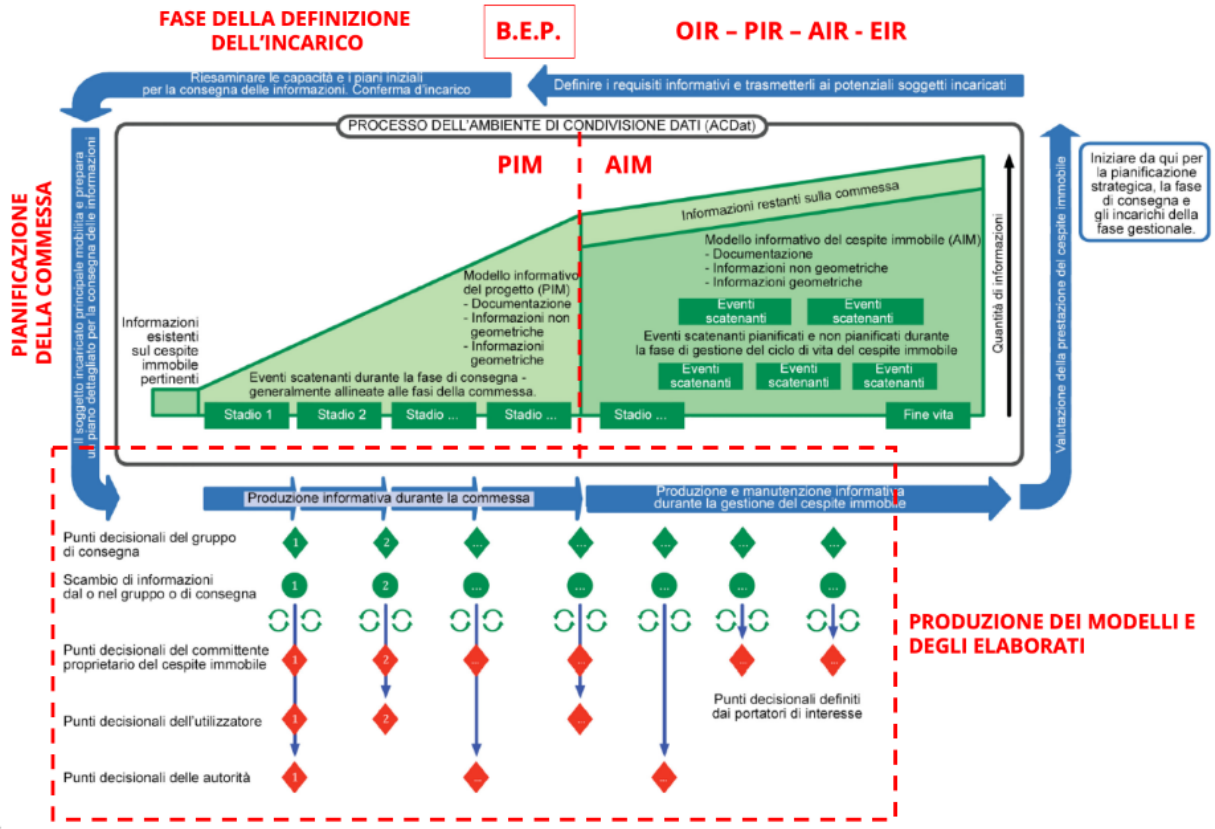


Figura 3: Panoramica e rappresentazione del processo di gestione e produzione delle informazioni secondo la UNI EN ISO 19650-1 (Fonte: [5])

La gestione delle informazioni dovrebbe essere applicata durante l'intero di ciclo di vita del cespite immobile e generalmente la quantità di informazioni gestite aumenta nel corso delle fasi di consegna e gestionale. Tuttavia, solo le informazioni necessarie ai vari modelli dovrebbero essere disponibili o trasferite. Il processo di gestione inizia ogni volta che si conferisce un incarico e il numero e la descrizione delle suddivisioni del ciclo di vita del cespite immobile (rappresentati in Figura 3 da rettangoli) e tutti i momenti salienti della produzione dei modelli e degli elaborati, "*dovrebbero riflettere la prassi locale, i requisiti della parte interessata e del soggetto proponente, nonché eventuali accordi o requisiti specifici per la consegna del progetto o la gestione del cespite immobile*" (tratto dal capitolo 13 della UNI EN ISO 19650-1:2019).

Nel capitolo 11, la UNI EN ISO 19650-1, relativamente alla gestione e produzione collaborativa delle informazioni, introduce il Livello di Fabbisogno Informativo (Level of Information Need), qui approfondito nel paragrafo 2.3, rispetto al quale il committente effettua la validazione e la verifica per ogni contenitore informativo[12]. In merito a ciò, la norma distingue le due tipologie di problematiche che devono essere gestite ed eliminate nei modelli informativi: esse possono essere di natura spaziale, definite interferenze informative (rilevabili con analisi delle interferenze o *clash detection*) che a loro volta possono avere vari livelli: *hard* (due oggetti occupano lo stesso spazio), *soft* (due oggetti si sovrappongono nelle loro aree di utilizzo) e *temporali* (due oggetti sono presenti nello stesso luogo e nello stesso momento); oppure, possono essere di natura funzionale, definite incongruenze informative (rilevabili attraverso *model checking*).

La parte 2 della UNI EN ISO 19650 definisce il processo di gestione delle informazioni nella fase di consegna dei cespiti immobili fornendo a tutti i soggetti coinvolti indicazioni per l'efficace ed efficiente acquisizione, utilizzo e gestione delle informazioni.

[12] Definizione riportata in nota 7

Lo schema riassuntivo dei soggetti e dei gruppi di consegna coinvolti nel processo della gestione delle informazione e le loro interfacce sono schematizzati in Figura 4.

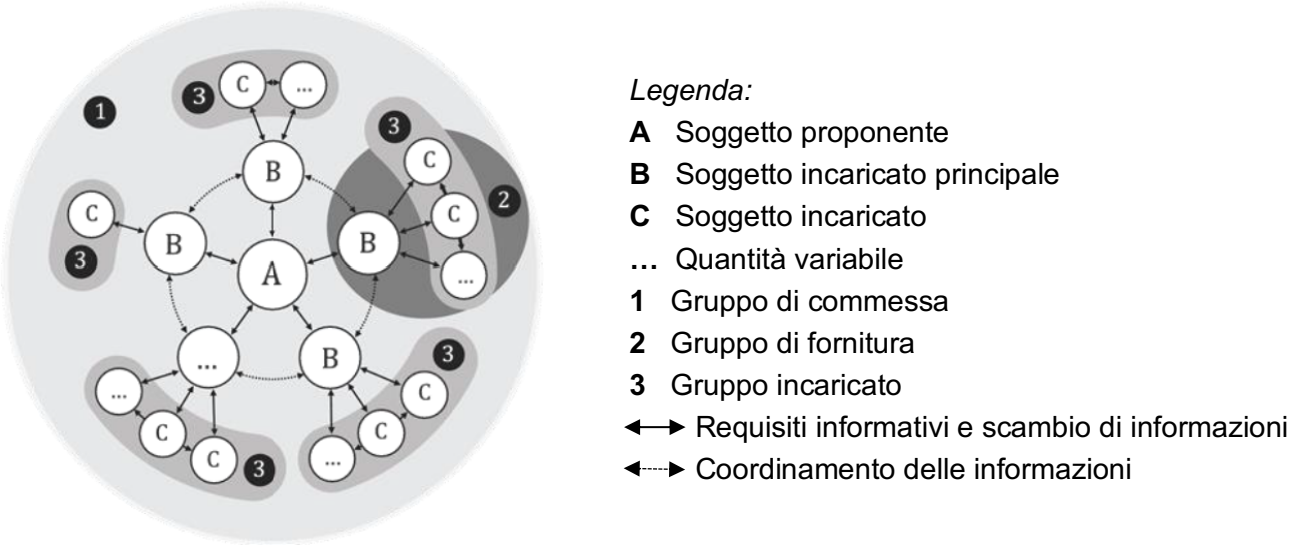
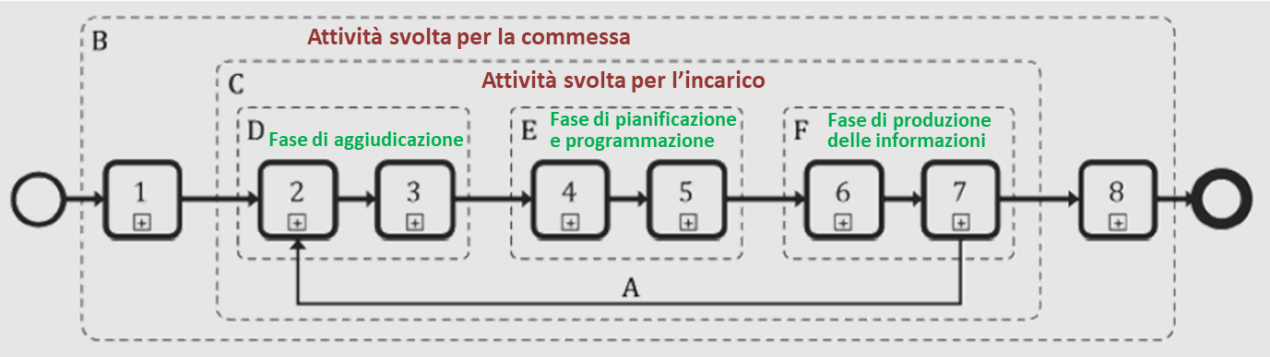


Figura 4: Interfacce tra soggetti e gruppi ai fini della gestione delle informazioni (Fonte: UNI EN ISO 19650-2)

In Figura 5 è, invece, schematizzato il processo di gestione delle informazioni che deve essere applicato per ogni incarico svolto in qualsiasi fase della commessa e copre tutta la fase di consegna.



A: Modello informativo con lo stato di avanzamento del(i) successivo(i) gruppo(i) di fornitura per ogni incarico

1 Valutazione e formulazione delle esigenze
2 Invito a presentare offerte
3 Offerte
4 Incarico
5 Mobilitazione
6 Produzione collaborativa di informazioni
7 Consegna del modello informativo
8 Chiusura della commessa (fine della fase di consegna)

Figura 5: Processo di gestione delle informazioni durante la fase di consegna dei cespiti immobili (Fonte: UNI EN ISO 19650-2)

Si rimanda alla norma tecnica per la definizione nel dettaglio di ognuna di ognuna delle attività del processo.

L'obiettivo di questa ricerca è cercare soluzioni per l'interoperabilità piena del BIM che consenta di condividere i dati e le informazioni tra gli attori che utilizzano architetture software diverse; in particolare si hanno difficoltà maggiori quando i dati devono essere condivisi con un modello ad elementi finiti per l'esecuzione di analisi numeriche. Dall'analisi della norma tecnica si deduce che un processo pienamente interoperabile in tutte le fasi del ciclo di vita, non possa prescindere dalla definizione da parte del soggetto proponente del processo di gestione informativa che parta dai requisiti di "alto livello" -che derivano dalle strategie dell'organizzazione-, per arrivare alla puntuale e completa definizione da parte del committente dei requisiti della commessa nel

Capitolato Informativo (paragrafo 2.2.2) e alla risposta in fase di gara da parte di ogni soggetto partecipante espresse nell'offerta di Gestione Informativa (oGI) che poi verrà sviluppato e dettagliato in fase di esecuzione da parte del soggetto incaricato principale nel piano di Gestione Informativa (pGI) (paragrafo 2.2.2).

2.2.2 Serie delle UNI 11337

Come già espresso, la ISO 19650 detta linee di indirizzo generali e prevede lo sviluppo di standard da parte degli Stati membri per colmare bisogni a livello nazionale non sentiti a livello internazionale.

La normativa italiana ha avviato tale processo attraverso la serie delle norme UNI 11337, ma non ha ancora completamente delineato nel dettaglio tutti gli aspetti legati al processo BIM nel settore delle costruzioni. La serie UNI 11337 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni" si compone complessivamente di 10 parti[13], delle quali la 2, 8, 9 e 10 non sono, ad oggi, state pubblicate.

Costituiscono allegato nazionale della ISO 19650, le UNI 11337 devono essere aggiornate in tutte le parti che siano con essa discordanti (principio di preminenza della norma superiore). Allo scopo il gruppo di lavoro originario, UNI/CT 033/GL05, è divenuto una sottocommissione UNI/TC033/SC05 e sono stati istituiti 8 nuovi gruppi di lavoro a cui sono state affidate le varie parti UNI 11337, con esclusione della 7 per il quale è (ad oggi) attiva una commissione CEN, mentre la parta 1 - generale - resta in capo alla sottocommissione [7].
Le modifiche principali riguarderanno:

- I livelli informativi (ex parte 4, approfondimento riportato nel paragrafo 2.3);
- La definizione degli attributi informativi degli oggetti digitali e soprattutto dei prodotti (ex parte 3);
- Una più dettagliata definizione dell'ACDat/CDE (ex parte 5) e lo sviluppo delle relative "piattaforme" digitali (ex parte 1);
- Il completamento del flusso informativo (ex parte 6).

Un breve cenno si ritiene opportuno su due dei documenti già citati: il Capitolato Informativo (CI) e il piano di Gestione Informativa (pGI), in quanto avranno riflessi sulle linee guida delle diagnosi energetiche BIM.

Il Capitolato informativo è previsto all'art. 7 del DM 560/2017 ed è dettagliato dalla norma tecnica UNI 11337 parte 5 per quanto riguarda "*i ruoli, i requisiti ed i flussi necessari alla produzione, gestione e trasmissione delle informazioni e la loro connessione e interazione nei processi di costruzione digitalizzati*" e UNI 11337 parte 6 relativamente a "*indicazioni procedurali e uno schema generale dei contenuti del capitolato informativo*". È predisposto dal committente per la fase di gara ed è un documento fondamentale per la formulazione dell'offerta, perché contiene le esigenze e i requisiti informativi richiesti agli affidatari. È sostanzialmente suddiviso in due sezioni: una tecnica (che prevede, tra gli altri, aspetti legati alle infrastrutture hardware e software, ai livelli di sviluppo, alle competenze richieste… sia dal lato del committente sia dal lato dell'affidatario) e una gestionale (che definisce per ogni fase del processo quali sono gli obiettivi e gli usi dei modelli richiesti all'affidatario). Quindi, il committente nel capitolato informativo definisce la codifica per ogni informazione contenuta nel modello BIM (famiglia di materiali, viste, elaborati, modelli, attributi informativi…) e il sistema di classificazione delle informazioni (gli Statunitensi OmniClass, Uniformat e Masterformat, il Britannico UniClass, ovvero altro scelto dal committente: ad esempio, l'Agenzia del Demanio utilizza il sistema di classificazione secondo la norma UNI 8290-1:1981).

Per un'interoperabilità piena, ogni attore della filiera deve conoscere il codice identificativo della classificazione di una entità ed utilizzarlo per acquisire tutte le informazioni ad essa relative necessarie al suo scopo. Altro aspetto che il committente deve definire nel CI è il livello di sviluppo degli oggetti, strettamente connesso agli usi previsti del BIM, ovvero a cosa e a chi servono le informazioni contenute negli oggetti.

Alle richieste del Capitolato Informativo, i proponenti rispondono in fase di gara con l'offerta di Gestione Informativa (oGI) che sarà poi dettagliata dal vincitore dell'appalto nel piano di Gestione Informativa (pGI) in

[13] Si prevedono ulteriori parti della UNI 11337 per normare gli aspetti relativi a: sicurezza dei dati, block-chain, qualificazione delle organizzazioni.

modo da rispondere puntualmente alle richieste del committente. Anche il pGI è suddiviso in una sezione tecnica e in una sezione gestionale, volte a definire lo scopo, ad identificare le azioni per il flusso informativo tra i diversi professionisti e a descrivere i requisiti del progetto e dell'infrastruttura necessari per la gestione del flusso informativo. Tra i contenuti principali del pGI, vi è la definizione di tutti gli usi del BIM all'interno dello specifico processo, il vocabolario di codifica delle informazioni e la mobilitazione delle risorse. Il pGI è un allegato del contratto, dunque è documento vincolante.

2.3 Individuazione dei livelli di fabbisogno informativo

Pur consapevoli di essere in una situazione in continua evoluzione normativa, merita una trattazione approfondita la definizione dei livelli di fabbisogno informativo (Level of Information Need) che superano gli attuali LOD (Level of Development o Livello di Sviluppo) e consentono una individuazione più puntuale dei requisiti informativi. Questi sono stati introdotti nei contenuti generali con la serie delle ISO 19650 e definiti nei dettagli dalla norma europea EN 17412-1:2020 attualmente in fase di recepimento in Italia. Anche la UNI 11337-4[14] è in fase di revisione, per essere adeguata alla UNI EN ISO 19650.

In un processo BIM è fondamentale definire in via prioritaria, per ogni specifico uso, chi sono gli attori che vi partecipano, quali sono le informazioni necessarie per ognuna delle fasi del ciclo di vita del bene costruito, quale è il loro livello di dettaglio/sviluppo e in quale momento le informazioni devono essere rese disponibili. Tutto questo, come sarà dettagliato nel Capitolo 6 è contenuto in un IDM (Information Delivery Manual).

Il committente nell'EIR (CI-capitolato informativo nelle UNI 11337) definisce con chiarezza, per ogni fase del ciclo di vita del progetto, il livello di fabbisogno informativo che ritiene necessario per rispondere compiutamente ai propri requisiti informativi, al fine, anche, di controllare che vengano prodotte/gestite/scambiate solo le informazioni strettamente necessarie; questo concetto è rimarcato dalla UNI EN ISO 19650, che definisce **spreco** ogni aggiunta di informazione non necessaria e dunque pone l'attenzione sul controllo del rischio che l'importazione automatica delle informazioni porti gli oggetti a raggiungere un livello di fabbisogno informativo maggiore di quello necessario/richiesto. Il livello di fabbisogno informativo aumenta man mano che il progetto evolve da una fase alla successiva lungo il ciclo di vita, dalla sua fase concettuale iniziale fino al modello per la gestione dell'asset (AIM).

Il livello di fabbisogno informativo di ogni contenitore informativo prodotto deve essere valutato e definito dal committente nel CI, in base agli scopi del modello, in base alle caratteristiche e ai bisogni informativi dello specifico progetto e deve tenere conto della qualità, quantità e granularità[15] delle informazioni richieste, come chiaramente definito dal soggetto proponente già nei documenti a monte del CI, ovvero negli OIR, AIR e PIR.

Allo stato attuale, a livello Europeo, si è deciso di non utilizzare acronimi per "Livello di Fabbisogno Informativo" (non sono presenti né nella UNI EN ISO 19650-1:2019 né nella EN 17412-1), pertanto si ometteranno anche in questa trattazione.

Il livello di fabbisogno informativo è caratterizzato dai seguenti tre componenti, meglio identificati nello schema della Figura 6 tratto dalla norma EN 17412-1:2020:

- Informazioni Geometriche (Level of Geometry) degli oggetti di un modello;
- Informazioni Alfanumeriche (Level of Information) degli oggetti di un modello;
- Documentazione (Level of Documentation), che definisce il livello informativo della documentazione relativa al bene costruito lungo l'intero ciclo di vita.

[14] Nella UNI 11337-4 è riportato lo schema informativo tra entità dell'opera, oggetto digitale e loro livello di sviluppo LOD espresso in oggetti 3D (LOG) e in specifiche schede informative (LOI). Non si riporta perché, come già detto, è oggetto di revisione in sede UNI

[15] Un dato viene definito più o meno granulare a seconda del livello di dettaglio in cui viene suddiviso.

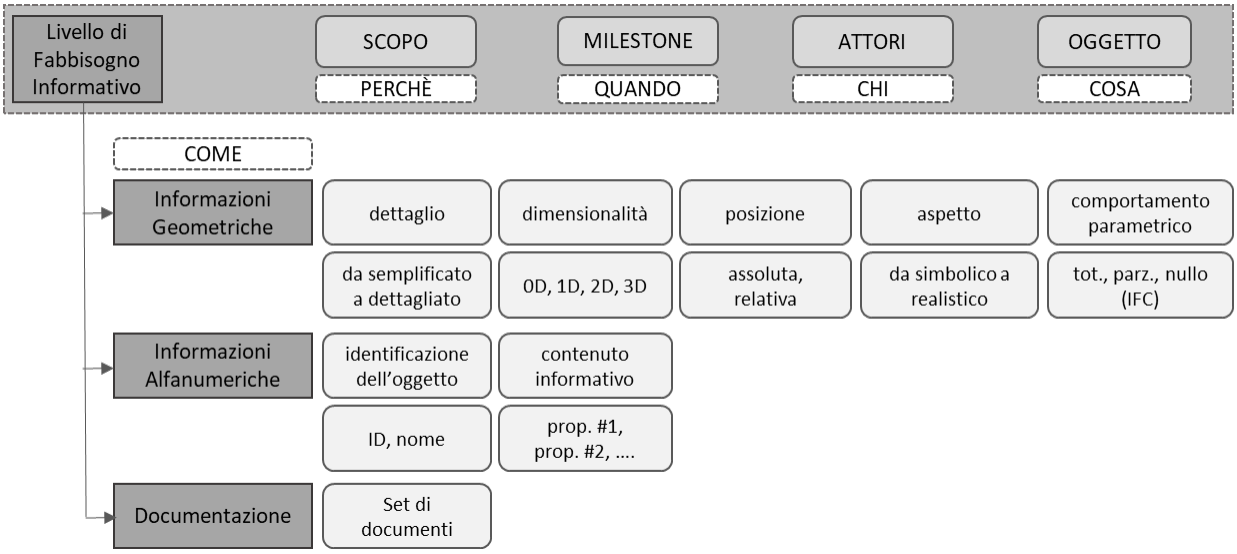


Figura 6: Schema sintetico dei Level of Information Need, liberamente tratto dalla EN17412:2020 (Fonte: [8])

La UNI EN ISO 19650 non definisce neanche scale di riferimento, come invece previsto per i LOD[16], ma segnala che ne esistono diverse alle quali ci si può appoggiare per classificare i Level of Information Need. La norma lascia, quindi, libera scelta e prevede la possibilità di utilizzare scale diverse, pur se complementari, per definire i livelli richiesti per la geometria e per i contenuti alfanumerici. Questo porta a non avere un livello di fabbisogno informativo predefinito, ma informazioni geometriche e alfanumeriche differenti a seconda **del livello di dettaglio/sviluppo dello specifico deliverable**.

Per avere un quadro generale, in attesa degli adeguamenti normativi, si fa qui qualche cenno sui LOD[17] della UNI 11337-4, utile ai fini del lavoro oggetto di questa ricerca. La norma identifica scale generali dei LOD in quattro ambiti, tra i quali quello per edifici e interventi di nuova costruzione e quello per il restauro. La definizione dei livelli informativi per gli edifici esistenti è un aspetto interessante sia a livello internazionale, visto che la maggior parte delle classificazioni esistenti tende a concentrarsi sulle nuove costruzioni, sia ai fini di questo lavoro.

Per gli edifici di nuova costruzione valgono tutti i livelli dei LOD mentre per gli interventi su edifici esistenti si evidenzia la necessità di un livello di contenuto informativo e di dettaglio di rappresentazione iniziale pari minimo al LOD F, implementato nelle successivi attività gestionali al LOD G. Si precisa, anche, che le singole

[16] La classificazioni dei livelli di sviluppo LOD nel mondo non è univoca (da "A" a "G" in Italia, da 100 a 500 per il sistema Americano, da 2 a 5 per i LOD in UK…) e LOD che apparentemente hanno la stessa scala hanno in realtà sviluppi informativi diversi nelle varie classificazioni: questo comporta che la richiesta di uno specifico sviluppo informativo del modello o dei sui oggetti deve essere opportunamente dettagliata con la norma a cui si riferisce.
Nella UNI 11337-4 la scala di classificazione dei LOD prevede:

- LOD A: sistema geometrico simbolico;
- LOD B: sistema geometrico generico o una geometria di ingombro;
- LOD C: sistema geometrico definito;
- LOD D: sistema geometrico dettagliato;
- LOD E: sistema geometrico specifico;
- LOD F: gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata sul luogo dello specifico sistema produttivo eseguito o costruito (*as built*);
- LOD G: gli oggetti esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito. Rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di uno specifico sistema produttivo aggiornato rispetto a quando originariamente eseguito/costruito o installato.

[17] Ripetiamo, al momento, i Level of Development/Level of Definition (LOD) sono stati sostituiti nella ISO 19650 dai Level of Information Need.

attività specialistiche, tra le quali l'analisi energetica, possono scaturire da modelli informativi opportunamente semplificati (LOD D o E). Ma per gli edifici nei quali le informazioni relative a interventi precedenti non siano disponibili, il livello di dettaglio minimo del modello architettonico deve essere il LOD F (Livello di dettaglio informativo per gli oggetti *as built*).

La UNI 11337-4 precisa che "per ciascun modello e per ciascuna fase ogni oggetto può essere definito con un LOD inferiore o superiore da quello caratteristico della fase".

Fermo restando che ogni organizzazione e ogni progetto hanno peculiarità specifiche che richiedono valutazioni ad hoc dei livelli dei bisogni informativi, come chiaramente espresso dalla UNI 19650, in questo lavoro, al fine di individuare quali siano gli input e gli output presenti nelle principali fasi del ciclo di vita dell'edificio connesse con la diagnosi energetica (paragrafo 6.3), sono state fatte alcune considerazioni sui livelli di fabbisogno informativo, basandosi anche sull'esperienza del caso studio analizzato. Sono state, in particolare, fatte delle valutazioni volte a definire quali siano i dati e le informazioni che il modellatore dell'edificio (un tecnico non esperto di aspetti energetici) debba necessariamente inserire nel modello nativo BIM, lasciando poi al tecnico esperto di aspetti energetici il loro completamento nel modello BEM (nella direzione di quanto attualmente espresso dalla UNI 11337-4, di partire da un modello di rilievo semplificato LOD D o E). La puntuale definizione dei dati e delle informazioni necessarie a supporto del modellatore, favorirà la realizzazione di modelli BIM adatti anche all'uso energetico.

Nel livello di maturità attuale, come verrà meglio dettagliato nel seguito del testo, permangono problemi di interoperabilità nella condivisione delle informazioni tra modelli nativi BIM e modelli energetici (BEM). In questa situazione può essere utile partire nel modello BIM con livelli informativi bassi che via via aumentano grazie alla condivisione delle informazioni con i modelli specifici per gli usi previsti dal committente. Quindi, per l'analisi energetica, dal modello BIM con un livello informativo basso, si esporta il file IFC mediante specifica MVD, che poi s'importa nel modello BEM ed, effettuate le verifiche e le correzioni degli eventuali errori geometrici, l'esperto energetico implementa il modello con i parametri necessari per l'analisi energetica (zone termiche, ponti termici, …). Il processo dovrebbe poi compiersi, quando lo scambio informativo sarà pienamente interoperabile, con la condivisione, nell'ambiente di condivisione dati, delle informazioni di output delle simulazioni energetiche, per l'aggiornamento dinamico del modello Informativo del cespite immobile (AIM). All'atto della verifica e della validazione del modello, ogni elemento di cui si compone deve rispettare ii livelli di fabbisogno informativo previsti dal soggetto proponente nel CI per lo specifico uso.

3 Metodologia per l'interoperabilità BIM to BEM

L'attuale impossibilità di uno scambio informativo BIM to BEM che sia automatico, completo e garantito è nota dalla letteratura scientifica ed è stata confermata con l'attività sperimentale svolta con il caso studio e riportata nel successivo Capitolo 5. Per la scelta della metodologia più appropriata da seguire per il raggiungimento della piena interoperabilità del processo di analisi energetica BIM, si è partiti da quanto emerso dalla review della letteratura scientifica svolta nella precedente annualità [1] e approfondita nel corso di questa attività. La consapevolezza dell'importanza che l'innovazione tecnologica del Building Information Modeling (BIM) può avere nella riqualificazione energetica di edifici ad elevate prestazioni energetiche, ha portato, negli ultimi anni, ad un notevole aumento dell'attività di ricerca nel settore, però sempre prevalentemente focalizzata sull'involucro e solo in maniera limitata sui sistemi HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning); inoltre non sono stati raggiunti i risultati sperati, anzi, la strada per l'interoperabilità piena è ancora lunga e richiede implementazioni sia per quanto riguarda gli applicativi BIM e BEM sia per quanto riguarda lo schema dati IFC [9] al fine di risolvere i problemi comuni di perdita di dati, di incompatibilità, di informazioni mancanti e di traduzione incoerente dai software BIM ai software di analisi/simulazione energetica [15].

Gli approcci indagati e proposti nella letteratura scientifica [1] per trovare possibili soluzioni a queste problematiche di interoperabilità, sono principalmente tre: Catena di tool proprietari (Proprietary tool-chain), Tool di intermediazione (Middleware tool) e Requisiti per lo scambio di informazioni (Exchange requirement).

Ognuno di essi ha specifiche potenzialità e limitazioni, ma gli studi sono concordi nel definire la terza, comunemente nota come “metodologia IDM/MVD” (Information Delivery Manual/ Model View Definitions), come quella che ha maggiori potenzialità di garantire l’interoperabilità piena, in quanto non è vincolata a strumenti o formati proprietari ma è basata sullo scambio informativo aperto che utilizza lo schema dati IFC e include il Manuale di consegna delle informazioni (IDM) e la Definizione della vista di modello (MVD) [15].

La “Metodologia IDM/MVD” è l’approccio a cui si è fatto riferimento in questa attività per l’implementazione dell’interoperabilità piena nello scambio informativo del processo di diagnosi energetica.

3.1 Chiarimenti su IFC e gbXML

La metodologia IDM/MVD, dunque, si basa sullo schema dati aperto IFC. Prima di entrare nel merito della metodologia, si ritiene utile precisare le ragioni che hanno portato a preferire l’utilizzo dello schema dati IFC rispetto ad altri formati aperti. Come si è già avuto modo di dire, l’uso di standard aperti non proprietari è necessario per raggiungere l’interoperabilità tra software utilizzati da tutti i protagonisti della filiera delle costruzioni, per tutte le fasi del ciclo di vita.

Senza scendere nella trattazione specifica, già affrontata in [1] sono disponibili diversi formati aperti a seconda dei differenti obiettivi informativi; nel processo edilizio BIM i principali sono:

- IFC (Industry Foundation Classes) implementato dall’organismo BuildingSMART International per soddisfare l'insieme integrato delle esigenze informative della filiera AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operations);
- gbXML (Green Building XML) sviluppato per facilitare il trasferimento dei dati tra strumenti BIM a strumenti di analisi energetiche.

Lo schema di dati aperto non proprietario gbXML (green-building XML) è ampiamente diffuso per lo scambio di informazioni in ambito energetico: molti lavori in letteratura lo indicano come lo schema attualmente più maturo per l’esportazione dei dati necessari per l’analisi delle prestazioni energetiche di un edificio.

Ai fini di questo lavoro si è scelto di utilizzare lo standard IFC perché, come anche evidenziano alcuni lavori in letteratura [12] [18], esso adotta un approccio globale e generico applicabile all’intero settore delle costruzioni edili e civili, quindi con le potenzialità per il processo di gestione delle informazioni dell’**intero ciclo di vita dell’edificio**. Il formato gbXML, invece, è stato sviluppato per l’acquisizione delle informazioni relativamente agli aspetti energetici. Inoltre, con IFC è possibile rappresentare qualsiasi forma geometrica, mentre gbXML ha una rappresentazione geometrica altamente semplificata che, pur se sufficiente per la simulazione energetica, è limitata per descrivere l’intero processo di progettazione integrata [12].

Un altro aspetto emerge dal confronto dei due standard: IFC ha uno lo schema di dati con approccio "top-down" che gli consente una rappresentazione dei dati “*altamente organizzata e relazionale*” anche se relativamente complesso, mentre gbXML utilizza un approccio "bottom-up" che lo rende flessibile, più intuitivo e relativamente semplice ma permette la rappresentazione dei dati delle informazioni ma non le loro relazioni [12].

3.2 Metodologia IDM/MVD

La metodologia IDM/MVD è il processo integrato standardizzato raccomandato da buildingSMART International (bSI) per ottenere uno scambio affidabile di dati BIM tra le parti interessate del processo di gestione e produzione delle informazioni del settore delle costruzioni civili ed edile.

Si basa sul presupposto che, per avere uno scambio informativo completo ed efficiente, è fondamentale che siano perfettamente definiti tutti i sotto-processi che costituiscono il processo principale, nonché tutti i bisogni informativi ad essi correlati [13]. La metodologia utilizza lo schema dati aperto IFC (definito nella UNI EN ISO 16739:2020 [40]) e introduce il manuale di consegna delle informazioni (IDM, Information Delivery Manual,

definito nella UNI EN ISO 29481-1:2017 [41]) e la definizione della vista di un modello (MVD, Model View Definition). Questo perché lo schema IFC, dovendo includere tutti i concetti comunemente utilizzati nei progetti del settore delle costruzioni per tutte le fasi del ciclo di vita, risulta ampio e complesso, mentre per lo specifico uso del BIM, nella particolare fase del ciclo di vita, occorre identificare gli specifici requisiti informativi. Questi possono essere rilevanti per più di una fase del ciclo di vita (aspetti esplorati nell'IDM) e occorre identificare quali componenti dello schema IFC devono essere estrapolati per soddisfare questi specifici requisiti (compito assolto dall'MVD).

Questo processo integrato, dunque, ha le potenzialità per consentire l'estrapolazione automatica dall'intero schema IFC delle sole informazioni necessarie per lo specifico uso, oltreché la possibilità di verifica della completezza dei dati e la garanzia della ripetibilità per gli altri usi e gli altri processi. Si articola nelle seguenti 4 fasi, che si trovano illustrate schematicamente in Figura 7, [13]:

- **Manuale di consegna delle informazioni (IDM):**
  Consente la definizione standardizzata dei processi e del flusso di informazioni per l'intero ciclo di vita dell'ambiente costruito e costituisce la base per lo sviluppo della MVD, quindi la base per l'implementazione dei software (approfondimento nel Capitolo 6).

- **Definizione della vista di un modello (MVD):**
  Consente di estrapolare la parte delle informazioni dell'intero modello IFC di cui si ha bisogno per la definizione dello specifico uso. Un MVD descrive quali oggetti, rappresentazioni, relazioni, concetti e attributi sono necessari all'utente ricevente ed ai suoi applicativi software, per l'esecuzione dell'attività richiesta. Ad esempio per la diagnosi energetica consentirebbe di importare dal modello BIM solo i dati e le informazioni strettamente necessarie per l'implementazione del modello BEM. Un MVD documenta i requisiti di implementazione del software per lo scambio di dati basato su IFC e viene utilizzato per la verifica della conformità e per la certificazione del software da parte di bSI.

- **Implementazione/certificazione del software:**
  Gli MVD vengono poi pubblicati affinché le case software possano implementare i loro applicativi. Questa è una fase molto importante perché concretizza e rende applicativo l'MVD. Avviene con il supporto tecnico e la successiva certificazione da parte di bSI su richiesta dell'interessato.

- **Convalida BIM:**
  Questa fase è necessaria perché la certificazione dei software non garantisce l'efficacia e la completezza dello scambio informativo dello specifico progetto. L'utente finale verifica seguendo la linea guida sviluppata come parte dell'IDM, che lo scambio informativo esportato da un applicativo certificato, soddisfi tutti i requisiti definiti nell'IDM e MVD di riferimento [13].

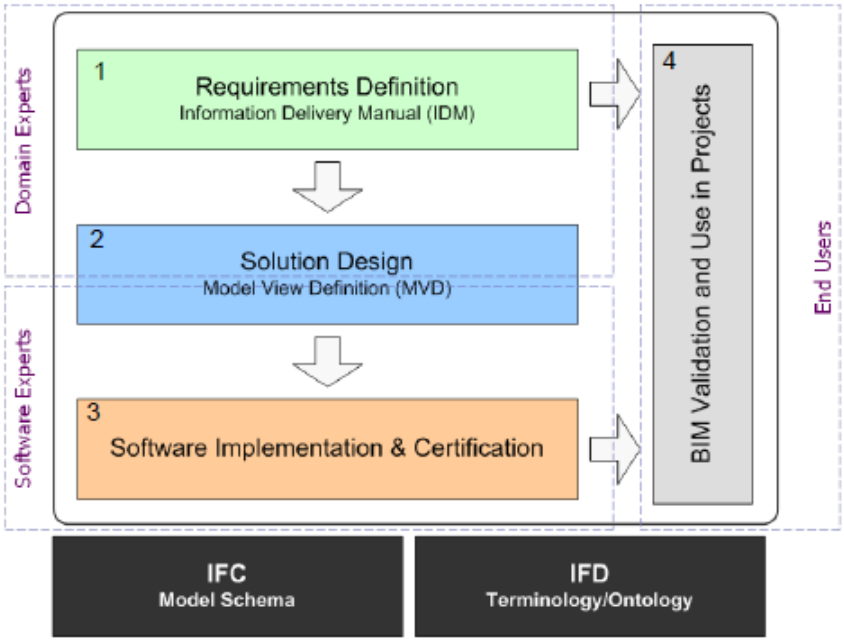


Figura 7: Il processo integrato in quattro fasi. Fonte: [13]

Attualmente sono disponibili IDM e MVD sviluppati per diverse applicazioni, ognuno con differenti livelli di completezza e di adozione. Il database degli IDM/MVD è pubblicato da buildingSMART international ed è consultabile al link [14], mentre in [1] sono esplicitati gli IDM di interesse per l'uso energetico e gli MVD ufficiali al 2019 di bSI. Ad oggi, non sono disponibili IDM e MVD ufficiali specifici per l'analisi energetica né risultano ancora implementati dalle case software nei propri applicativi.

A livello internazionale sono attivi gruppi di lavoro impegnati nella definizione della metodologia IDM/MVD per gli aspetti energetici. Anche con questo lavoro s'intende fornire un contributo all'implementazione e standardizzazione del processo informativo delle **analisi energetiche di edifici esistenti**, attraverso la **definizione di alcuni aspetti dell'Information Delivery Manual per la diagnosi energetica**, come descritti nel Capitolo 6, ovvero la definizione della mappa di processo per le diagnosi energetiche partendo dalla connessioni della diagnosi energetica con gli usi del BIM lungo l'intero ciclo di vita e arrivando all'identificazione dei parametri minimi necessari per la definizione del processo informativo.

Non è, invece, oggetto di questo lavoro lo sviluppo della Model View Definition, che può essere intrapreso una volta definiti e completati gli IDM a cui afferisce e che richiede conoscenze tecniche specifiche relativamente agli aspetti informatici, allo schema dati IFC, oltreché alla modellazione dei dati [13].

4 Diagnosi dell'edificio di studio: Sede Inps Roma

Il caso studio che si è scelto di approfondire nell'ambito del presente lavoro è l'edificio che ospita la sede regionale dell'INPS di Roma, in Via Chopin 35. Una diagnosi energetica dell'edificio è stata condotta nel 2018 nell'ambito del progetto ESPA [9][18], il che ha permesso di avere già disponibili buona parte delle informazioni necessarie per eseguire la diagnosi dell'edificio di studio secondo i *workflow* proposti all'interno del progetto[19].

[18] Parti del report di diagnosi saranno riprese all'interno di questo lavoro.

[19] Anche data l'impossibilità di effettuare i sopralluoghi, dovuta all'emergenza della pandemia COVID-19, si è deciso di riprendere un lavoro già portato avanti in precedenza, in maniera da avere già a disposizione la documentazione necessaria.

L'edificio che ospita la sede regionale dell'INPS di Roma risale agli anni '50 ed è situato nel quartiere EUR, nelle immediate vicinanze della piazza che ospita l'obelisco, nota come piazza Guglielmo Marconi. La zona venne progettata negli anni trenta del XX secolo per la costruzione della sede dell'Esposizione Universale di Roma, dal cui acronimo ha assunto il nome, ma che non ebbe mai luogo a causa dell'inizio della seconda guerra mondiale e il complesso fu completato nei decenni successivi, modificando e ampliando il progetto originario.

La diagnosi è stata nuovamente realizzata, utilizzando il software di analisi energetica – diverso da quello impiegato nell'ambito del progetto succitato – che è stato scelto per l'analisi delle problematiche di interoperabilità portate avanti al paragrafo 5 di questo lavoro e partendo dalla documentazione a disposizione che includeva il rapporto tecnico della diagnosi [10] – che sarà più volte ripreso all'interno di questo capitolo – e documentazione tecnica, fotografica e grafica (piante e sezioni) relativa all'edificio. La documentazione a disposizione ha permesso la realizzazione del modello energetico dell'edificio, la ricostruzione del suo profilo energetico e tutte le considerazioni fatte sono state validate attraverso le bollette, il che ha consentito di verificare la correttezza delle ipotesi fatte.

Oltre alle motivazioni già indicate, è stato scelto questo specifico caso studio anche per la destinazione d'uso uffici, che tiene conto di un numero maggiore di servizi energetici rispetto al residenziale e che risulta essere una tipologia tenuta in specifico conto all'interno delle Linee Guida ENEA [2].

Come sarà più chiaro al capitolo successivo, ai fini di questo lavoro sarà utilizzato:

- come esempio di applicazione pratica della procedura di una diagnosi secondo UNI/TR 11775 e secondo linee guida ENEA;
- per l'analisi delle problematiche di interoperabilità nello scambio informativo tra software BIM e software BEM;
- per la definizione del flusso di lavoro e del flusso delle informazioni del processo BIM di diagnosi;
- per la validazione sperimentale della metodologia utilizzata per la realizzazione di diagnosi energetiche in ambiente BIM.

Nella sottostante Figura 8, si riporta l'immagine satellitare dell'edificio tratta da Google Maps; nella Tabella 1 sono mostrati i dati geografici relativi alla localizzazione dell'edificio, mentre nella Tabella 2 e nella Tabella 3 sono inseriti i dati standard relativi alla climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio.

Figura 8: Inquadramento sito oggetto di DE

Tabella 1: Dati geografici edificio oggetto di DE

DATI GEOGRAFICI	
Città	Roma
Altitudine	20 m slm
Latitudine nord	45° 53’
Longitudine est	12° 28’

Tabella 2: Dati climatizzazione invernale edificio oggetto di DE

CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	
Zona Climatica	D
Temperatura esterna di progetto	0 °C
Gradi Giorno	1.415 GG
Durata convenzionale del periodo di riscaldamento:	166 giorni
	dal 1 novembre al 15 aprile
	12 h/giorno

Tabella 3: Dati climatizzazione estiva edificio oggetto di DE

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA	
Temperatura esterna bulbo asciutto	34 °C
Temperatura esterna bulbo umido	25,2°C
Umidità relativa	50 %
Escursione termica giornaliera	11 °C

L’edificio, a pianta rettangolare, è costituito da 7 piani fuori terra ad uso uffici. La facciata principale, su via Chopin e sulla quale si trova l’ingresso all’edificio, è esposta a Nord-Ovest. Al piano terra, si trovano alcuni esercizi commerciali con impianti autonomi che, pertanto, non sono stati presi in esame all’interno delle analisi del presente lavoro. L’edificio confina con edifici a numerose elevazioni, come ad esempio l’edificio a 20 piani sito a Sud-Ovest su Piazza Marconi, che proietta un’ombra in molte ore del giorno.

Nella Tabella 4 si riportano le principali caratteristiche dimensionali dell’edificio oggetto di diagnosi, ricavate a partire dal modello energetico dello stesso, realizzato con un software specifico per l’analisi energetica certificato dal CNI ai sensi della normativa italiana:

Tabella 4: Caratteristiche dimensionali dell’edificio

	Superficie netta riscaldata	Volume lordo riscaldato	Volume netto riscaldato
EDIFICIO	2092,89 m^2	7627,98 m^3	6099,90 m^3

La caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianto consiste nel ricostruire il comportamento energetico dell'involucro edilizio (opaco e trasparente) in relazione al contesto climatico in cui è inserito e con il quale interagisce, oltre a tener conto delle grandezze che influenzano i consumi specifici quali le condizioni di esercizio, gli affollamenti, i profili di utilizzo dell’edificio e degli impianti. Note queste informazioni, si possono stimare i consumi facendo ricorso a procedure di calcolo in grado di consentire valutazioni sia di tipo qualitativo (capacità di controllo dei parametri microclimatici da parte delle soluzioni impiantistiche studiate) che di tipo quantitativo (richieste energetiche).

Il presente paragrafo riporta una descrizione approfondita del sistema "edificio-impianto", da cui si è partiti per analizzarne il comportamento. Si precisa che il volume considerato per la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio è unicamente quello riscaldato. Pertanto, le superfici confinanti con ambienti in cui non è presente il sistema di riscaldamento sono considerate come disperdenti verso ambienti non climatizzati.

In questo paragrafo, si riporta un estratto di quello che sarebbe il report di questa diagnosi (riprendendo e integrando, ove necessario, il lavoro già citato [10] o, ove possibile, rimandando direttamente a quello) allo scopo di fornire una panoramica del sistema edificio-impianto del caso studio.

4.1 Descrizione dell'edificio: l'involucro

Di seguito si analizzano gli elementi edilizi disperdenti costituenti l'involucro dell'edificio analizzato.

Grazie alla documentazione a disposizione, è stato possibile, con la maggiore accuratezza consentita in relazione all'accessibilità dei luoghi e dei singoli componenti, valutare lo stato di fatto delle strutture opache e trasparenti disperdenti, con la valutazione della trasmittanza termica degli elementi.

L'edificio in esame ha una struttura portante in cemento armato, tamponata con pareti del tipo a cassetta con camera d'aria. I solai sono in latero-cemento e il pavimento è appoggiato sul terreno. La copertura è piana e priva di isolamento.

Figura 9: Vista aerea tratta da Google Maps

Figura 10: Viste del fronte principale dell'edificio tratte da Google Maps

4.1.1 Pareti perimetrali

Differenti tipologie di pareti perimetrali possono essere individuate nell'edificio.

Le pareti perimetrali dell'edificio sono del tipo "a cassetta", ossia costituite da due strati di laterizi, rispettivamente di 15 e 8 cm di spessore, con interposta intercapedine di 20 cm. Il rivestimento esterno è in marmo, mentre la finitura interna è in intonaco. Lo spessore complessivo del pacchetto è di 47,5 cm e la trasmittanza calcolata per l'elemento tecnico in esame è pari a 1,095 W/m^{2}K. La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]	C [kJ/kg·K]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)		0,130	7,690		1,000
A	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,022	0,900	1.800,000	0,840
B	Pareti esterne con umidità 1,5 % (1800kg/m3)	80,0	0,100	0,800	1.800,000	0,840
C	Aria 200 mm (flusso orizzontale, aperture < 500 mm2)	200,0	0,180	1,110	1,200	1,000
D	Pareti esterne con umidità 1,5 % (600kg/m3)	150,0	0,417	0,360	600,000	0,840
E	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,022	0,900	1.800,000	0,840
F	Marmo	5,0	0,002	3,000	2.700,000	1,000
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)		0,040	25,000		1,000

Trasmittanza termica:	1,095	W/m²K	Capacità termica interna C1:	72,346	kJ/m²K
Resistenza termica:	0,913	m²K/W	Capacità termica esterna C2:	78,622	kJ/m²K
Spessore:	475,0	mm	Trasmittanza termica periodica YIE:	0,48	W/m²K

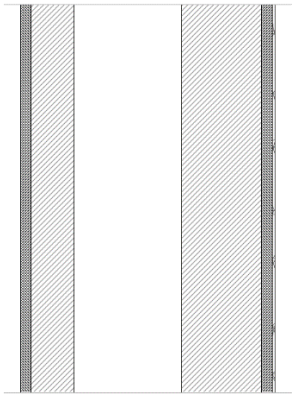


Figura 11: Parete verticale esterna

4.1.2 Pareti su scala e verso altre unità

La parete di confine con scale e ascensore è un elemento fortemente disperdente. Si tratta di un setto in cemento armato priva di isolante, finita ad intonaco su entrambi i lati. Lo spessore è ridotto, ossia 20 cm e la trasmittanza elevata di 2,82 W/m^{2}K. La parete interna non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale né superficiale.

La parete che separa la zona climatica considerata da zone confinanti è della stessa tipologia della parete di confine con la scala e presenta dunque le medesime caratteristiche.

	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]	C [kJ/kg·K]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)		0,130	7,690		1,000
A	Intonaco di calce o di calce e cemento	10,0	0,011	0,900	1.800,000	0,840
B	Armato (con 2% di acciaio)	180,0	0,072	2,500	2.400,000	1,000
C	Intonaco di calce o di calce e cemento	10,0	0,011	0,900	1.800,000	0,840
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)		0,130	7,690		1,000

Trasmittanza termica:	2,822	W/m²K	Capacità termica interna C1:	84,653	kJ/m²K
Resistenza termica:	0,354	m²K/W	Capacità termica esterna C2:	84,653	kJ/m²K
Spessore:	200,0	mm	Trasmittanza termica periodica YIE:	1,01	W/m²K

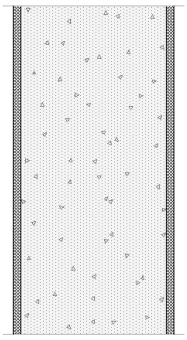
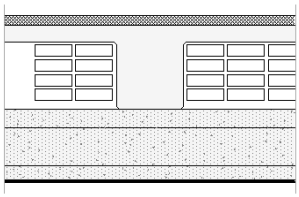


Figura 12: Parete verticale su scale

4.1.3 Copertura

La copertura è piana e priva di isolamento. Si tratta di una soletta in latero-cemento, impermeabilizzata con doppio strato di guaina bituminosa. Lo spessore complessivo è di 34,6 cm, per una trasmittanza termica pari a 1,77 W/m^{2}K.

	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]	C [kJ/kg·K]
	Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)		0,100	10,000		1,000
A	Asfalto	3,0	0,004	0,700	2.100,000	1,000
B	Asfalto	3,0	0,004	0,700	2.100,000	1,000
C	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	30,0	0,018	1,650	2.200,000	1,000
D	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	80,0	0,085	0,940	1.800,000	0,880
E	Media massa volumica (2000 kg a m3)	40,0	0,030	1,350	2.000,000	1,000
F	Soletta blocchi in laterizio+travetti in cls (R=0,350m2K/W)	180,0	0,263	0,686	900,000	1,000
G	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,022	0,900	1.800,000	0,840
	Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)		0,040	25,000		1,000



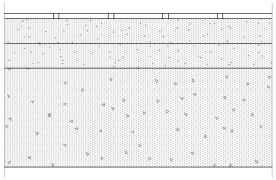
Trasmittanza termica:	1,766	W/m²K	Capacità termica interna C1:	92,146	kJ/m²K
Resistenza termica:	0,566	m²K/W	Capacità termica esterna C2:	90,724	kJ/m²K
Spessore:	356,0	mm	Trasmittanza termica periodica YIE:	0,53	W/m²K

Figura 13: Copertura (N.B. il disegno è capovolto)

4.1.4 Pavimento su terra

Il pavimento su terra è costituito, dal basso verso l'alto, da uno strato di circa 20 cm di calcestruzzo con massa volumica media, sul quale poggia uno strato di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa a struttura chiusa, finito con un sottofondo di cemento magro, che funge da allettamento per le piastrelle in ceramica. La trasmittanza termica è pari a 2,13 W/m^{2}K, mentre, considerando una conduttività del terreno di 2 W/mK, la trasmittanza contro terra è pari a 0,475 W/m^{2}K.

	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]	C [kJ/kg·K]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)		0,170	5,880		1,000
A	Ceramica o porcellana	10,0	0,008	1,300	2.300,000	0,840
B	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	50,0	0,053	0,940	1.800,000	0,880
C	Calcestruzzo strutt. chiusa, argilla espansa, interni, umidità 4%(1500 kg/m3)	50,0	0,089	0,560	1.500,000	0,880
D	Media massa volumica (2000 kg a m3)	200,0	0,148	1,350	2.000,000	1,000



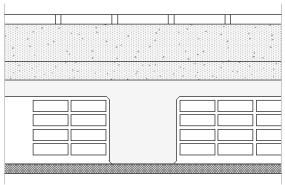
Trasmittanza termica:	2,135	W/m²K	Capacità termica interna C1:	64,216	kJ/m²K
Resistenza termica:	0,468	m²K/W	Capacità termica esterna C2:	210,284	kJ/m²K
Spessore:	310,0	mm	Trasmittanza termica periodica YIE:	0,84	W/m²K

Figura 14: Pavimento su terreno

4.1.5 Solai verso locali non riscaldati

Si è ipotizzato che il solaio interno verso locali non riscaldati abbia la medesima stratigrafia della copertura, fatta eccezione per lo strato superiore che è costituito da piastrelle. Lo spessore è di 34 cm e la trasmittanza termica è pari a 1,325 W/m^{2}K.

	Strati	Spessore [mm]	R [m²·K/W]	λ [W/m·K]	ρ [kg/m³]	C [kJ/kg·K]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)		0,170	5,880		1,000
A	Ceramica o porcellana	20,0	0,015	1,300	2.300,000	0,840
B	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	80,0	0,085	0,940	1.800,000	0,880
C	Media massa volumica (2000 kg a m3)	40,0	0,030	1,350	2.000,000	1,000
D	Soletta blocchi in laterizio+travetti in cls (R=0,350m2K/W)	180,0	0,263	0,686	900,000	1,000
E	Intonaco di calce o di calce e cemento	20,0	0,022	0,900	1.800,000	0,840
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)		0,170	5,880		1,000



Trasmittanza termica:	1,325	W/m²K	Capacità termica interna C1:	62,079	kJ/m²K
Resistenza termica:	0,755	m²K/W	Capacità termica esterna C2:	52,887	kJ/m²K
Spessore:	340,0	mm	Trasmittanza termica periodica YIE:	0,26	W/m²K

Figura 15: Pavimento verso locali non riscaldati

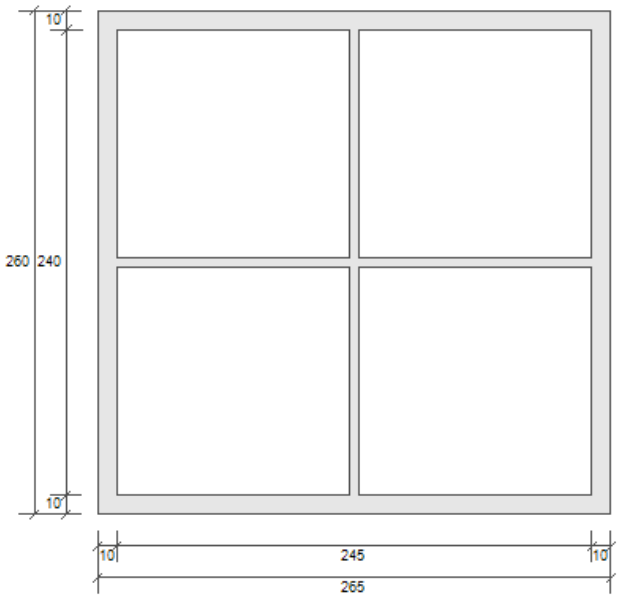
4.1.6 Serramenti

I serramenti sono in alluminio senza taglio termico e vetro singolo. Ne sono state individuate 4 tipologie principali sulla base della conformazione e delle dimensioni. In particolare, il piano primo e quello ammezzato sono caratterizzati da ampie finestre di dimensioni 2,65 m per 2,60 m. I piani successivi presentano sulla facciata su via Chopin una prevalenza di ampie finestre a nastro, lunghe 3,14 m per 1,60 m di altezza. Sul fronte laterale del vano scale e sul fronte posteriore sono presenti, rispettivamente, finestre singole di 0,70 m per 1,60 m di altezza, per un totale di 10 elementi, e finestre doppie 1,50 m per 1,60 m di altezza, per un totale di 35 elementi.

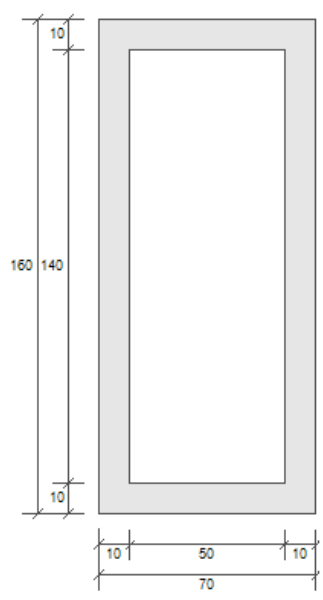
Alcuni dati relativi ai serramenti sono riassunti nella Tabella 5.

Tabella 5: Superfici serramenti

Tipologia	L	H	Sup. modulo	Moduli totali	Sup. totale	Moduli d'involucro	Sup. d'involucro		Componente Vetrata	
	m	m	m²	n°	m²	n°	m²	%	m²	%
W1 - F265x260	2,65	2,6	6,89	18	124,0	11	75,8	18,3	61,9	81,7
W2 - F70x160	0,7	1,6	1,12	10	11,2	0	0,0	0,0	0,0	62,5
W3 - F314x160	3,14	1,6	5,02	64	321,5	50	251,2	60,8	195,4	77,8
W4 - F150x160	1,5	1,6	2,4	36	86,4	36	86,4	20,9	60,5	70,0
Totale				**128**	**543,2**	**97**	**413,4**		**317,8**	**292,0**



W1



W2

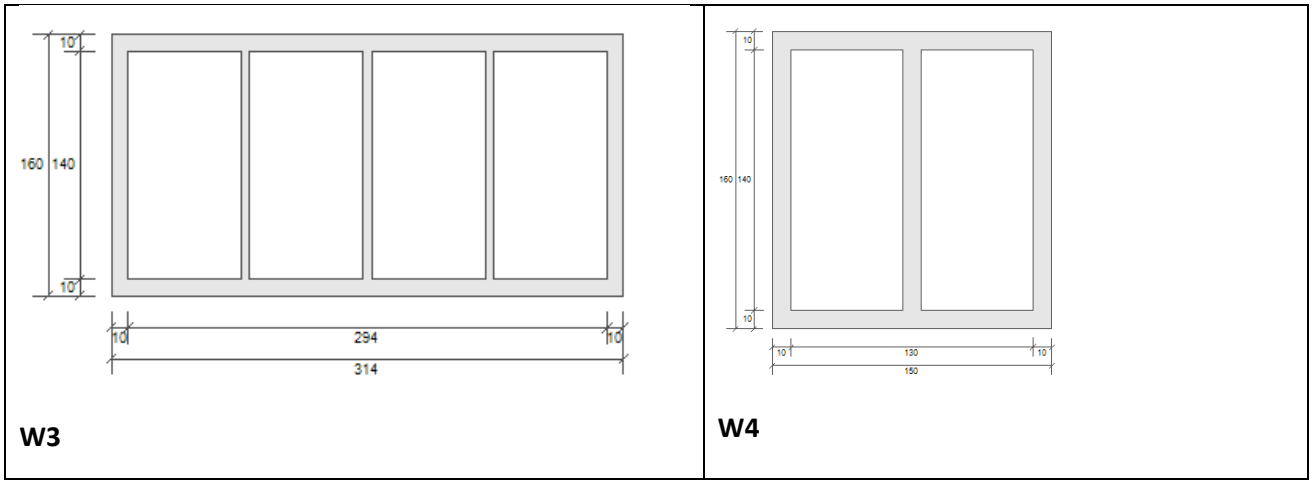


Figura 16: Tipologie dei serramenti

4.2 Sistemi di climatizzazione invernale/estiva e di produzione di ACS

L'impianto di climatizzazione invernale ed estiva è unico e centralizzato. I generatori sono pompe di calore ad inverter. I terminali sono bocchette ad aria. La produzione dell'acqua calda sanitaria avviene attraverso boiler elettrici.

Per una descrizione dettagliata dei sistemi di cui al presente paragrafo, si rimanda al report della Diagnosi dell'edificio di studio [10]. Tutti i dati in essi contenuti sono stati implementati all'interno del modello energetico realizzato con il software che si è scelto di utilizzare in questo lavoro.

4.2.1 Sistema di termoregolazione

Il tipo di regolazione presente è per singolo ambiente, ossia ciascun terminale ha a bordo il termostato. Di seguito, nella Tabella 6 e nella Tabella 7, sono mostrati i profili di utilizzo, ossia gli orari di accensione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, rispettivamente:

Tabella 6: Orario attivazione gruppi termici

	Periodo di accensione	Giorni/settimana	Ore/giorno
Centrale termica	Dalle 8:00 alle 18:00	Lun.-Ven.	11

Tabella 7: Orario attivazione gruppi frigo

	Periodo di accensione	Giorni/settimana	Ore/giorno
Gruppi frigo	Dalle 8:00 alle 18:00	Lun.-Ven.	Lun.-Ven.

4.3 Impianti elettrici

4.3.1 Illuminazione

L'illuminazione dell'edificio avviene attraverso tubi a neon, come si può vedere in Figura 17. Per il calcolo della potenza dei corpi illuminanti, è stato analizzato un ufficio e stimata una potenza di 15 W/m^2, in linea con quanto indicato all'interno del lavoro già citato [10]. Considerando una superficie utile di 2093 m^2, la potenza totale stimata dei corpi illuminanti è di 31,39 kW.

Figura 17: Tipologia corpo illuminante

Di seguito, la Tabella 8 mostra il riepilogo dei corpi illuminanti analizzati:

Tabella 8: Consumi elettrici per illuminazione

Ubicazione	Potenza installata		
	Potenza [W/mq]	Superficie [mq]	Potenza tot [kW]
Edificio INPS via Chopin	15	2.093	31,39

4.3.2 Servizio per il trasporto di persone o cose

Il servizio per il trasporto di persone o cose consiste di due ascensori. La categoria considerata è la 5A, ossia la categoria per edifici adibiti ad uffici fino a 10 piani.

Di seguito, in Figura 18, si mostra una schermata del software che si è utilizzato in questo lavoro per la realizzazione della diagnosi energetica del caso studio e che mostra le informazioni relative al servizio di trasporto di persone o cose:

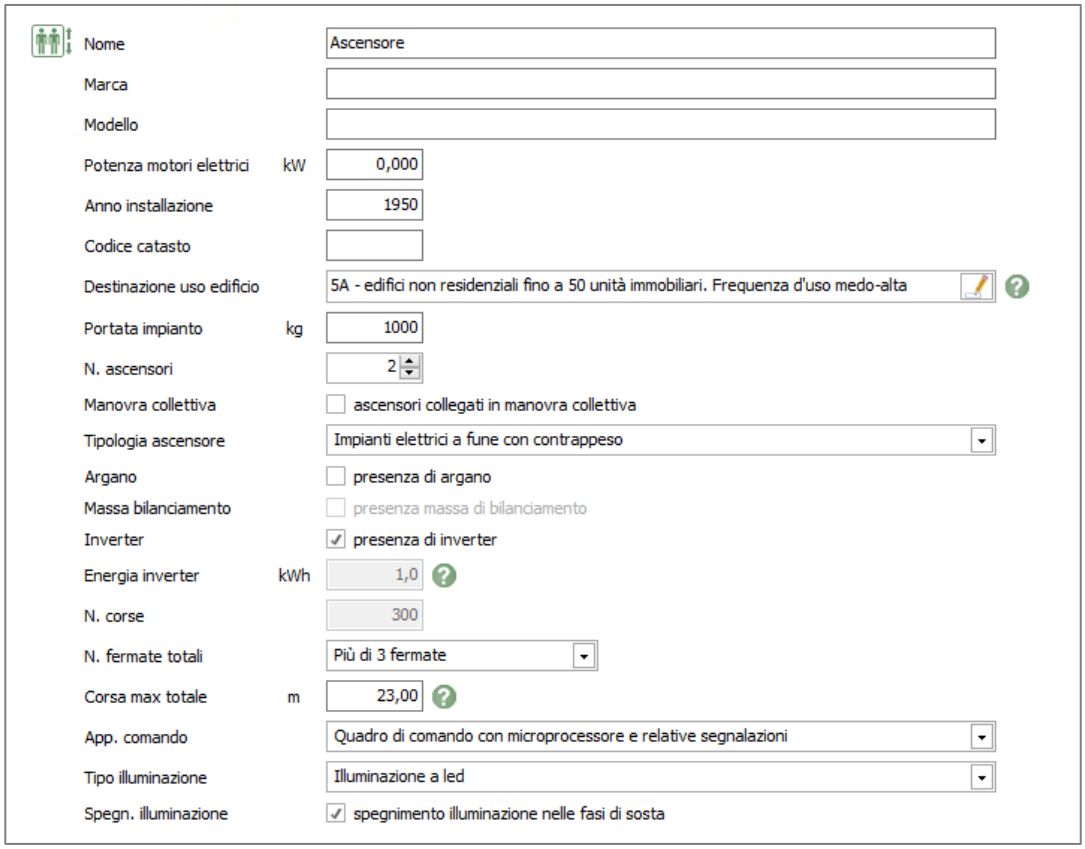


Figura 18: Dati servizio per il trasporto persone o cose

4.4 Analisi dei consumi elettrici

Si riporta nei successivi paragrafi una valutazione dei consumi energetici dell'edificio di studio, che prende le mosse dalle ipotesi e dalle analisi condotte all'interno del lavoro di diagnosi precedente [10], ma che è stata effettuata nell'ambito del presente lavoro alla luce di nuove esigenze[20]. L'obiettivo è quello di definire un consumo di baseline, da utilizzare come riferimento per la validazione del modello e per la valutazione degli interventi. Come indicato nelle linee guida, affinché l'analisi sia attendibile, è opportuno esaminare almeno i dati di tre anni, attraverso l'andamento mensile, che consente di valutarne la coerenza e di ricercare le cause di eventuali anomalie (come ad esempio, un cambiamento di destinazione d'uso o dei profili di utilizzo dell'edificio…).

I consumi, relativi ad ogni vettore energetico presente, nel caso in esame la sola energia elettrica, vanno analizzati per individuare le voci di consumo dovute ai diversi i servizi energetici: ossia va realizzato l'inventario energetico dell'edificio. I consumi sono riconducibili ai seguenti servizi: riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, produzione di ACS, trasporto di persone o cose, ventilazione meccanica, a cui si devono aggiungere i consumi legati alle apparecchiature da ufficio.

Nella Tabella 9 si riportano i consumi di energia elettrica di tre anni (2015-2017). Per il 2017, sono a disposizione i dati solo fino al mese di Luglio:

[20] Oltre all'utilizzo di un software differente,

Tabella 9: Consumi energia elettrica mensili

2015	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Totale
Consumi en. elettrica [kWh$_e$]	29.331	31.118	27.482	18.830	18.539	24.700	40.723	33.655	26.655	17.731	25.288	36.970	331.022
2016	**Gen.**	**Feb.**	**Mar.**	**Apr.**	**Mag.**	**Giu.**	**Lug.**	**Ago.**	**Set.**	**Ott.**	**Nov.**	**Dic.**	**Totale**
Consumi en. elettrica [kWh$_e$]	37.157	29.144	29.611	14.079	15.777	23.874	30.039	26.978	23.099	18.756	25.698	34.434	308.645
2017	**Gen.**	**Feb.**	**Mar.**	**Apr.**	**Mag.**	**Giu.**	**Lug.**	**Ago.**	**Set.**	**Ott.**	**Nov.**	**Dic.**	**Totale**
Consumi en. elettrica [kWh$_e$]	43.277	29.827	25.937	20.994	16.899	26.048	24.522	-	-	-	-	-	

Si confronta di seguito l'andamento mensile dei consumi, individuando il consumo medio, che costituisce il consumo di riferimento (Figura 19):

	Consumo energia elettrica [kWh]		
	2015	2016	media
Gennaio	29.331	37.156	33.244
Febbraio	31.118	29.144	30.131
Marzo	27.482	29.611	28.547
Aprile	18.830	14.079	16.455
Maggio	18.539	15.777	17.158
Giugno	24.700	23.874	24.287
Luglio	40.723	30.039	35.381
Agosto	33.655	26.978	30.317
Settembre	26.655	23.099	24.877
Ottobre	17.731	18.756	18.244
Novembre	25.288	25.698	25.493
Dicembre	36.970	34.434	35.702
	331.022	308.645	319.834

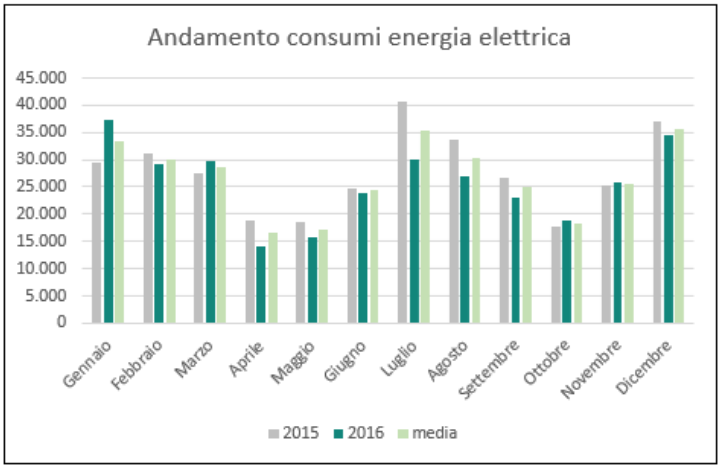


Figura 19: Andamento mensile consumi

Come si evince osservando i dati appena mostrati, sono stati reperiti i dati di consumo del 2015, 2016 e 2017. Non disponendo di tutti i dati di consumo del 2017, si è ritenuto di individuare il consumo di riferimento come la media dei consumi di 2015 e 2016. Tale consumo è pari a 319.834 kWh.

Avendo un unico dato di consumo elettrico da bolletta, è stata effettuata una stima dei consumi dei servizi afferenti a questo vettore energetico, analizzando i consumi relativi a ciascun servizio.

Il riscaldamento e il raffrescamento hanno gli stessi generatori, ossia pompe di calore elettriche. La stima dei relativi consumi è stata effettuata tramite software, così come il consumo dovuto all'ACS, ottenuta tramite boiler elettrici. È importante sottolineare che per questa analisi e la successiva validazione del modello energetico si sono utilizzati i dati climatici delle temperature medie mensili degli anni 2015 e 2016 (mostrati in Tabella 10 e ottenuti sul sito web www.meteo.it) e non i dati standard della normativa italiana.

Tabella 10: Dati climatici reali (media 2015-2016)

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura media giornaliera esterna (°C)	9,8	11,6	13,5	17,5	21,3	26	30,1	28,7	24,1	18,8	14,3	9,3

Si è utilizzato il software di analisi energetica scelto anche per valutare i consumi connessi all'illuminazione – a partire dalle stime di potenza a metro quadro e di tempi medi di accensione dell'impianto fatta in sede di inventario energetico (2.340 h/anno, 9h/giorno) – e per quelli dei sistemi di trasporto (ascensori).

Il consumo per ventilazione meccanica e apparecchiature da ufficio è stato stimato, riprendendo le considerazioni già fatte nel lavoro precedente [10], al quale si rimanda per maggiori dettagli del calcolo.

Nella Tabella 11 è mostrato l'inventario energetico con il calcolo dei consumi per ciascun servizio e le relative percentuali sul consumo totale. Come si può vedere, il consumo totale stimato (305.194 kWh) si discosta di meno del 5% dai consumi da bolletta degli stessi anni (319.834 kWh).

Tabella 11: Consumi energia elettrica per servizio

Servizio	Consumo stimato [kWh]	Consumo %
Illuminazione	78.793	25,82%
ACS	5.432	1,78%
Trasporto	1.890	0,62%
Raffrescamento	55.151	18,07%
Riscaldamento	44.471	14,57%
VMC	14.480	4,74%
Apparecchiature da ufficio	104.976	34,40%
TOTALE	**305.194**	**100%**

4.4.1 Fabbisogno di energia primaria ed emissioni di CO_2

Per completezza della trattazione, si riportano di seguito i consumi in kWh di energia primaria e in tep, tonnellate equivalenti di petrolio (Tabella 12): a tale scopo si utilizzano i coefficienti di conversione fissati nella Delibera EEN 3/08 e nella Direttiva europea 2003/87/CE). In Tabella 13, infine, si riportano le emissioni di CO_2 annualmente emesse per il funzionamento dell'edificio.

Tabella 12: Consumi in termini di energia primaria

TEP energia elettrica	59,8	**kWh energia primaria**	773.997

Tabella 13: Emissioni di CO_2

Tonnellate annuali di CO_2 da energia elettrica	137,5	t

4.4.2 Valutazione dei costi per l'approvvigionamento energetico e per la gestione

Considerando un costo unitario per l'energia elettrica di 0,17 €, la spesa complessiva risulta di 54.372 € l'anno. Nella Tabella 14 si riportano le singole voci di spesa e il totale della spesa annuale:

Tabella 14: Costi dell'energia

VETTORE ENERGETICO	€/anno
Energia elettrica	54.372

4.5 Modello energetico del sistema fabbricato-impianto della sede INPS

Per effettuare la diagnosi dell'edificio oggetto di studio, si è rivelata necessaria la realizzazione del suo modello energetico nel software di analisi energetica scelto per questo lavoro: essendo l'edificio interamente alimentato da elettricità per ciascuno dei servizi energetici presenti al suo interno, le analisi sul modello energetico hanno, infatti, permesso di stimare i consumi energetici per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione, la produzione di ACS e il trasporto di persone o cose, tenendo in considerazione delle caratteristiche dell'edificio e della sua localizzazione (dati climatici locali, edifici vicini o confinanti…).

Di seguito alcune immagini del modello energetico del caso studio, elaborate a partire dal software di analisi energetica certificato.

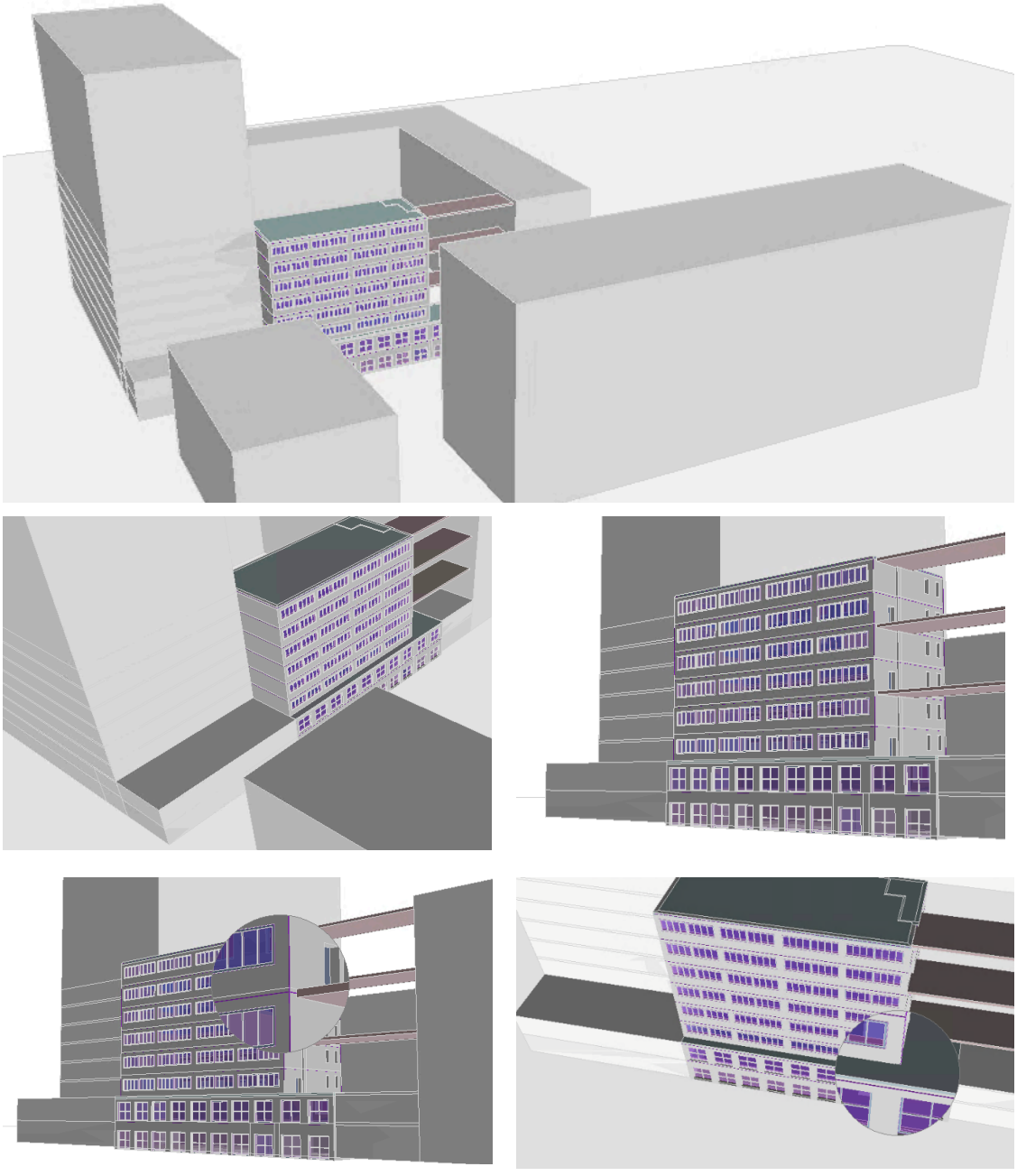


Figura 20: Immagini del modello energetico tridimensionale

Gli elementi di involucro sono stati modellati come indicato nei paragrafi precedenti. Si noti che i soli elementi che delimitano le zone riscaldate dall'ambiente esterno o da zone non riscaldate o riscaldate a temperatura fissa o dal terreno sono considerati "involucro" ai fini dei calcoli energetici. Ad esempio, le partizioni interne orizzontali e verticali, non sono state modellate, se non nei casi in cui delimitavano aree riscaldate da aree non riscaldate (ad esempio, il corpo scale e ascensori).

Ai fini di una maggiore completezza del modello, però, alcuni elementi tecnici non appartenenti all'involucro sono stati modellati (vedasi, ad esempio, le pareti perimetrali dei locali commerciali a piano terra): non essendo però elementi delimitanti locali climatizzati dall'impianto dell'edificio di studio, non sono stati computati dal software per la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio. In tal senso, perché il software computi correttamente, diventa fondamentale la corretta "zonizzazione" termica dell'edificio (ossia definizione dei locali, climatizzati e non).

Si sono assegnati poi i ponti termici agli elementi d'involucro (che sono introdotti nella Tabella 15), utilizzando un approccio puntuale: se, da un lato, ad esempio per gli infissi, è possibile assegnare a ciascuna tipologia definita il corrispondente ponte termico, in alcuni casi, si è invece rivelato necessario un inserimento attraverso l'input grafico del programma di analisi energetica direttamente sul modello dell'edificio (ad esempio, per i ponti termici relativi ai pilastri). Alcuni di questi possono essere osservati nelle viste del modello contenute nella Figura 20.

Tabella 15: Ponti termici utilizzati

	Descrizione	Ψ (W/mK)
IF2 Pavimenti	Parete isolata in mezzeria con solaio non isolato e trave non isolata	0,447
P2 Pilastri	Parete esterna isolata in mezzeria con pilastro non isolato	0,046
R2 Coperture	Parete isolata in mezzeria con copertura isolata e trave non isolata	0,191
W14 Serramenti	Serramento a filo interno su mazzetta non isolata, parete isolata in mezzeria	0,287

Anche gli elementi esterni di ombreggiamenti sono stati gestiti attraverso input grafico: aggetti ed edifici confinanti in grado di proiettare ombra sull'edificio sono stati inseriti come volumetrie all'interno del modello, il che ha reso agevole il calcolo degli ombreggiamenti.

Si noti che, se per la **validazione del modello energetico** con le bollette si sono utilizzati i dati climatici medi mensili reali degli anni considerati (Tabella 10), per il **calcolo del consumo di baseline** per l'eventuale valutazione degli interventi migliorativi si sono invece usati i dati climatici standard forniti dalla normativa italiana.

Dal software analizzato è possibile estrapolare un file climatico "base" con le caratteristiche energetiche: si tratta di un foglio di calcolo interoperabile, facilmente utilizzabile all'interno di programmi per il calcolo energetico. A parte la prima colonna, aggiunta per completezza all'interno di questo documento, tale file contiene le informazioni della Tabella 16.

Come già sottolineato, la definizione delle zone e locali termici all'interno dell'edificio è un passaggio fondamentale per l'analisi energetica dello stesso. Nel caso studio, sono state definite 4 zone termiche sulla base del layout dell'impianto, rilevato in fase di inventario energetico, e delle macchine a servizio di ciascuna zona; i piani sono stati poi definiti separatamente come locali termici. La suddivisione nell'edificio è riportata nella Tabella 17.

Tabella 16: Dati climatici standard

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura media giornaliera esterna (°C)	8,1	9,1	11,5	15,9	19,2	22,6	26,4	26,6	21,7	17,8	12,7	8,7
Irradiazione giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale (MJ/m²)	3,5	5,4	8,1	11,4	12,7	16,1	19,1	15,1	10,4	6,9	3,9	3,4
Irradiazione giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale (MJ/m²)	2,8	3,6	5,2	7,3	8,8	9,4	8,6	7,8	6,7	4,9	3,2	2,7
Valore medio mensile della pressione parziale del vapor d'acqua dell'aria ext. (Pa)	953,3	800,4	1003,4	1162,1	1241,3	1601,1	1629,8	1978,5	1565,8	1353,9	1038,5	935,0
Escursione termica media giornaliera della temperatura esterna (°C)	7,1	7,8	8,5	9,1	10,1	10,7	11,3	11	10	8,6	7,4	6,9

Tabella 17: Zone e locali termici

Locali climatizzati
Uffici impianto A-B-C
Ingresso Piano Terra
Piano Ammezzato
Piano Primo
Piano Secondo A-B-C
Uffici impianto D-E-F
Piano Secondo D-E-F
Piano Terzo
Piano Quarto D-E-F
Uffici impianto G-H
Piano Quarto G-H
Piano Quinto
Uffici impianto L-M
Piano Sesto

Ambienti confinanti non riscaldati
Vano Scale

Ambienti confinanti riscaldati da altri impianti
Piano Terra (servizi commerciali)
Edificio confinante riscaldato

4.6 Proposta di miglioramento energetico

Per definizione, la diagnosi energetica è caratterizzata, da un lato, dall'analisi e dalla conoscenza dello stato di fatto dell'edificio, della sua prestazione energetica e dei suoi consumi reali, dall'altro, dall'identificazione delle strategie e degli interventi atti a migliorare le prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto, pur garantendo un buon rapporto costi-benefici.

Nel caso studio analizzato, partendo dall'analisi dello stato di fatto che si è portata avanti nelle pagine precedenti, sono stati individuati alcuni possibili interventi volti a incrementare le performance energetiche dell'edificio che dovranno valutarsi anche sotto il profilo costi-benefici:

- Sostituzione dei serramenti;
- Sostituzione dei generatori con VRV;
- Coibentazione della copertura;
- Installazione di un impianto fotovoltaico.

Il presente lavoro riguarda la diagnosi energetica in ambiente BIM e, come si vedrà nel dettaglio in seguito, l'esportazione in formato IFC dal software di analisi energetica utilizzato (e, più in generale, lo scambio informativo tra software BIM e software BEM) in formato IFC è possibile soltanto per le informazioni relative alla geometria del fabbricato e del suo involucro allo stato di fatto, incluse le stratigrafie e, quindi, non degli impianti. Dunque, non potendo in questa fase essere valutati all'interno di un processo BIM, gli interventi migliorativi non saranno approfonditi in questa fase[21].

5 Problematiche interoperabilità Open BIM per diagnosi energetiche

Questo capitolo descrive l'attività portata avanti durante il secondo anno di ricerca che ha riguardato l'analisi delle problematiche di interoperabilità riscontrate nell'ambito della diagnosi energetica dell'edificio scelto come caso studio.

In particolare, utilizzando due software presenti sul mercato – uno di *authoring BIM* diffuso a livello mondiale e uno di analisi energetica certificato ai sensi della normativa italiana nonché in grado di "operare", almeno parzialmente, in ambiente BIM[22] – si è inteso:

a) Individuare e stilare le **problematiche di esportazione di dati e informazioni da una diagnosi esistente** (modello BEM realizzato con un software di modellazione e analisi energetica) in un formato IFC interoperabile, distinguendo tra problematiche generali relative allo standard IFC e problematiche specifiche relative ai software utilizzati;

a) Individuare e stilare le **problematiche di esportazione di dati e informazioni mediante file IFC dal modello BIM di un edificio** (realizzato nell'ambito di questo lavoro con un software di *authoring*) per la successiva importazione in un software di analisi energetica allo scopo di realizzare un modello BEM e analizzarne le prestazioni energetiche, distinguendo tra problematiche relative allo standard IFC e problematiche specifiche relative ai software utilizzati.

Relativamente al punto a), per valutare gli scambi informativi dal modello BEM alla piattaforma BIM, sono state analizzate le problematiche di esportazione a partire dal modello energetico BEM, appositamente realizzato e validato nell'ambito della diagnosi descritta al capitolo precedente, nel software di modellazione/analisi energetica scelto per questo lavoro. Si è reso necessario realizzare il modello energetico direttamente nel software BEM, perché, come descritto nel paragrafo 5.2, a causa delle problematiche di interoperabilità esistenti, l'importazione del file IFC dal modello BIM realizzato con software di authoring, non avrebbe portato ad avere un modello energetico completo e correttamente realizzato L'obiettivo di questa analisi è duplice, da un lato indagare il flusso delle informazioni finalizzato all'utilizzo degli output delle analisi/simulazioni energetiche per aggiornate il modello informativo nella piattaforma BIM interoperabile per gli usi successivi del BIM per l'intero ciclo di vita (es. progettazione energetica, valutazione impatto ambientale, stima dei costi, coordinamento dei modelli di progetto, ecc.); dall'altro per indagare le possibilità di utilizzo delle informazioni contenute in un modello BEM di una diagnosi energetica realizzato in assenza del modello architettonico, situazione ancora attualmente possibile nell'attuale livello di maturità del BIM, in modo da rendere più facilmente consultabile e utilizzabile il lavoro dei tecnici diagnosti, anche nell'ottica della pianificazione e realizzazione degli interventi proposti, della futura gestione e manutenzione dell'edificio, nonché della conoscenza più approfondita del costruito. Infatti, come già sottolineato in precedenza nel Report della prima annualità [1], nel punto a) s'inserisce anche la situazione oggi ricorrente in cui non è presente il modello BIM degli edifici oggetto di diagnosi e i tecnici incaricati sono chiamati a realizzare con software

[21] Per la valutazione degli interventi migliorativi, si richiama inoltre al lavoro già citato 105[10].

[22] Nel primo anno di ricerca [1], si sono analizzati i software italiani certificati per le analisi energetiche ai sensi della normativa attraverso alcuni criteri predefiniti (afferenti ad aspetti energetici e *BIM-related*) e fra questi sono stati individuati sei software che hanno avviato un processo di integrazione, più o meno profonda, all'interno del processo BIM. Il software utilizzato rientra in questa selezione.

proprietari di modellazione e analisi energetica modelli contenenti molteplici informazioni di tipo geometrico, termo-fisico, impiantistico, economico degli edifici oggetto di diagnosi.

In quest'ambito, si son esportate in formato IFC le informazioni contenute nel modello energetico dell'edificio scelto come caso studio di cui è stata effettuata la diagnosi di cui si è scritto al paragrafo 4. Analizzandolo, si è inteso quindi comprendere quello che della diagnosi, ad oggi, è possibile esportare e proporre delle eventuali linee di ottimizzazione del modello ed "arricchimento" dei file IFC esportati dal software di studio e – più in generale – dai software di modellazione energetica.

Parallelamente (punto b), si è analizzato il processo di scambio informativo "dal BIM al modello BEM della Diagnosi" per valutare l'attuale possibilità di utilizzo delle informazioni dell'anagrafica dell'edificio presente nella piattaforma BIM per realizzare il modello energetico della diagnosi. Sulla base di questa si potrà avviare più speditamente e in maniera più organizzata, il processo di studio dello stato di fatto e analisi energetica all'interno dei software per la modellazione e l'analisi energetica. La fase di rilievo dell'esistente per la creazione di un modello BIM di un edificio può essere sicuramente integrata con la fase di rilievo delle caratteristiche energetiche necessarie per una diagnosi energetica (Figura 41).

Si è analizzato, dunque, per lo stesso edificio scelto come caso studio, il processo che prevede la modellazione con un software di authoring BIM, l'esportazione del modello in formato IFC e la successiva importazione nel software di analisi energetica per la realizzazione della diagnosi.

L'obiettivo in questa fase è stato anche **fornire indicazioni/raccomandazioni per la corretta modellazione BIM atte a garantire una condivisione interoperabile delle informazioni finalizzata alle analisi di tipo energetico**, a partire dall'analisi della letteratura di settore e dell'esperienza specifica sul caso studio, analizzato con i due specifici software (uno di authoring, l'altro di modellazione energetica[23]). Si indicheranno le problematiche incontrate, le criticità ad oggi non superate e si proporranno possibili soluzioni per semplificare il processo. Destinatario di queste linee guida è chi realizza un modello BIM di un edificio esistente, nell'ottica dell'interoperabilità piena e della massima integrazione e fruibilità in ambito BIM delle informazioni del rilievo che è una fase centrale nel processo di diagnosi.

Tutto questo lavoro si riconduce al principio, ampiamente promosso a livello europeo, della **digitalizzazione del patrimonio costruito**: ossia la possibilità di creare, grazie anche alle innovazioni tecnologiche portate dal BIM, una sorta di database digitalizzato, interoperabile e facilmente consultabile degli immobili esistenti, in grado di semplificare la gestione (economica, energetica, manutentiva, ecc.) degli stessi nonché di tutta la documentazione ad essa associati.

5.1 Possibilità di esportazione di dati da diagnosi energetiche esistenti (modello BEM)

La diagnosi energetica dell'edificio di studio è stata realizzata attraverso un software per l'analisi energetica certificato con l'obiettivo di comprendere quali informazioni potessero essere esportate sotto forma di file IFC, ossia in formato dati aperto e interoperabile, dalla diagnosi stessa.

Si sono quindi individuate le problematiche di esportazione dati e informazioni da diagnosi esistente (modello BEM) sotto forma di file IFC interrogabile e interoperabile, distinguendo, ove possibile, tra quelle più generali relative allo standard IFC e quelle più peculiari relative ai software utilizzati. Va quindi sottolineato che quest'analisi si fonda sull'osservazione di un esempio specifico analizzato con software specifici e tenta, a partire da questa, di tracciare delle considerazioni più generali, per fornire un contributo nella direzione dell'interoperabilità piena e aperta.

Va sottolineato che il modello energetico deve essere realizzato attraverso l'input grafico e non tabellare. Si tenga in considerazione inoltre che, quasi sempre, in fase di modellazione energetica alcuni aspetti non rilevanti ai fini energetici vengono trascurati: ad esempio, i divisori interni verticali e orizzontali – se delimitano locali riscaldati alla stessa temperatura – spesso non vengono inclusi nel modello energetico, che si limita a

[23] Software certificato dal CTI ai sensi della normativa italiana (inserire riferimenti).

considerare il solo "involucro disperdente". Il modello BEM può risultare quindi semplificato, anche per quanto concerne la geometria, rispetto a un modello BIM *as built* che rileva l'edificio in maniera completa allo stato di fatto.

Perché le informazioni del modello energetico realizzato direttamente nel software di modellazione/simulazione energetica possano essere successivamente utilizzate in un processo informativo BIM, il tecnico responsabile dell'analisi energetica, deve chiaramente realizzare un modello BEM rispondente alla realtà (tenendo presente che non saranno rappresenti gli elementi ce non interessano l'analisi energatica, segnalando in maniera inequivocabile eventuali assunzioni e/o semplificazioni.

Il software utilizzato permette di esportare un file IFC contenente tutta una serie di informazioni geometriche e non geometriche relative al modello energetico della diagnosi, che sono state evidenziate analizzando nel dettaglio il file IFC attraverso l'utilizzo di un visualizzatore BIM (o *BIM viewer*), ossia di un programma specifico per la visualizzazione e l'analisi di modelli IFC. I visualizzatori BIM, di cui esistono numerosissime versioni disponibili gratuitamente sul mercato, consentono di selezionare tutte le entità che costituiscono un modello BIM (ad es. pareti, finestre, ecc…), di localizzarle nel modello e di visualizzarne le proprietà associate. In Figura 21, si mostrano le schermate del viewer utilizzato in questo lavoro.

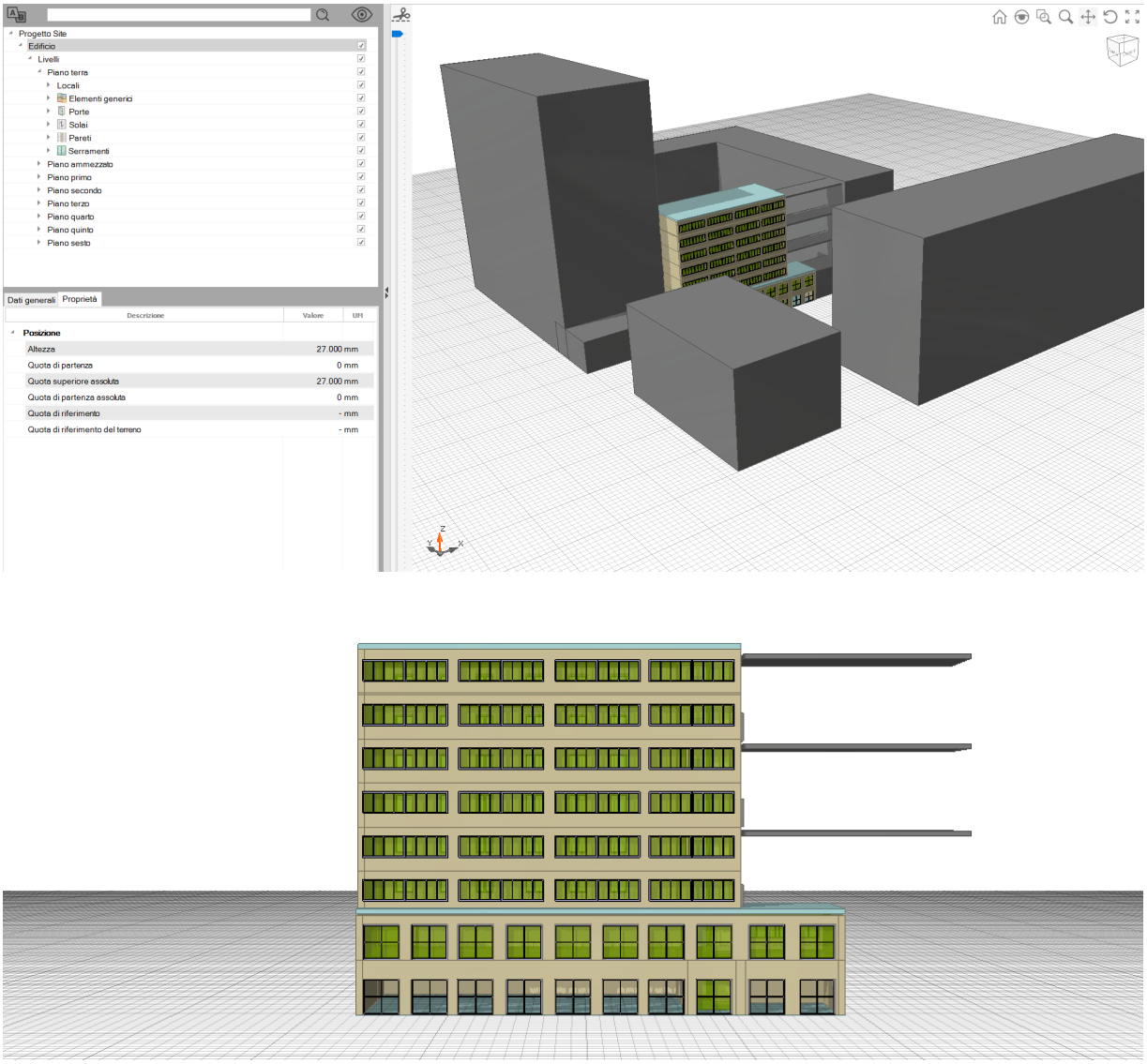


Figura 21: Schermate del modello dell'edificio di studio visualizzato e interrogabile all'interno di un BIM viewer

Da tale analisi, tuttavia, si è rilevato come solo le informazioni relative alla geometria del fabbricato e del suo involucro, incluse le stratigrafie, riescano ad essere esportate. Ad esempio, zone e locali termici, che sono

fondamentali per la caratterizzazione delle prestazioni energetiche di un edificio (per la definizione degli impianti, delle schedule di utilizzo, etc.), pur avendo dell'entità specifiche corrispondenti all'interno del formato IFC, per il momento non risultano esportabili.

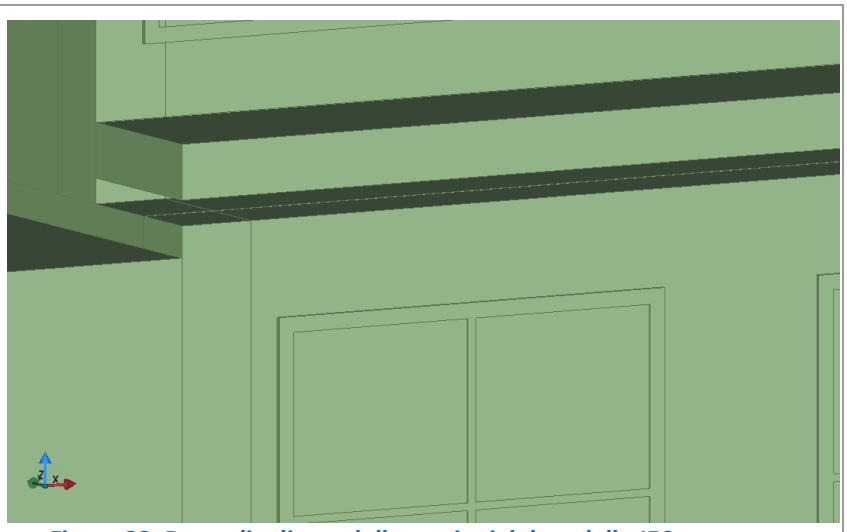
Osservando attentamente le caratteristiche del suddetto file IFC, si sono potute individuare alcune problematiche descritte nel dettaglio nella Tabella 18. Tale attività ha, inoltre, permesso di acquisire una maggiore conoscenza dell'effettiva interoperabilità e del formato IFC.

La seguente tabella specifica le entità IFC che sono state esportate, con la MVD "Design Transfer View" di IFC4, a partire dalla diagnosi energetica impostata con il software di analisi selezionato: al suo interno, oltre alla definizione fornita a livello di standard [11] per ciascuna delle entità IFC esportate, si sono descritti i problemi riscontrati per i quali si sono anche proposte delle soluzioni (ove possibile).

Tabella 18: Tabella di studio e approfondimento del file IFC esportato dalla diagnosi

Entità IFC	n.	Note e descrizione
IfcBuilding	1	«*IfcBuilding viene utilizzato per costruire la struttura spaziale di un edificio (che funge da suddivisione del progetto principale e deve essere gerarchico)*» [11].
IfcProject	1	Contiene le informazioni di base sul modello, come ad esempio le unità di misura di default.
IfcBuildingElementProxy	9	In questo caso, sono gli elementi di ombreggiamento – orizzontale e verticale – che sono stati costruiti con l'apposito comando nel software di analisi energetica: gli edifici vicini, terrazze esterne, etc. Questi vengono esportati dal software come *IfcBuildingElementProxy*, ossia come degli elementi "generici" non ancora in tutto definiti: «*I proxy possono anche essere usati come segnaposti spaziali o disposizioni, che in seguito potrebbero essere sostituite da speciali tipi di elementi. Altri usi di IfcBuildingElementProxy includono:* - *IfcBuildingElementProxy può essere utilizzato per scambiare tipi speciali di elementi di costruzione per i quali la specifica corrente non fornisce ancora una definizione semantica;* - *IfcBuildingElementProxy può anche essere utilizzato per rappresentare elementi di costruzione per i quali le applicazioni partecipanti non possono fornire una definizione semantica*» [11]. Re-importando nel software il file IFC esportato, tali elementi "scompaiono" dal modello, il che potrebbe voler dire che il software di analisi esporta questo tipo di entità IFC, ma non ne supporta l'importazione.
IfcBuildingStorey	8	I piani in cui è suddiviso il modello vengono esportati come entità separate, il che permette anche una gestione e una visualizzazione – in alcuni IFC viewer – suddivisa per piano dell'edificio e degli oggetti che lo compongono. Si riscontra una perfetta corrispondenza con i livelli delle piante del software di authoring.

IfcDoor	9	Le caratteristiche della porta che vengono esportate sono (alcune delle quali non specificate nel modello energetico, ma assegnate al file esportato): - *IfcDoorStyle* (materiale, tipo di apertura); - *IfcDoorLiningProperties* (caratteristiche della cornice della porta in termini di spessore e posizionamento nella parete); - *IfcDoorPanelProperties* (altezza del pannello, senso di apertura). Nel file IFC, risulta inoltre la relazione con il corrispondente *IfcOpeningElement*. Le porte non risultano "selezionabili" nel modello e non è visualizzabile nel modello neanche il valore di trasmittanza termica.
IfcOpeningElement	131	È un'apertura, una nicchia, un vuoto all'interno di pareti, solai o altri elementi. Sono, in questo caso, in numero esattamente identico alla somma delle porte e delle finestre in quanto rappresentano la porzione della parete che deve essere eliminata per far loro spazio e vengono creati in maniera automatica insieme a queste. Le dimensioni sono quelle di un prisma con una sezione identica alla forma dell'apertura, centrato rispetto all'asse dell'elemento ospitante e di spessore pari allo spessore dell'elemento ospitante.
IfcSite	1	Contiene informazioni su latitudine e longitudine del sito di progetto; nell'esempio esaminato, i dati del Comune di Roma.
IfcSlab	4	Le stratigrafie dei solai, siano essi soffitti o pavimenti, vengono esportate parzialmente: - *Name*: risulta quindi necessario sul software energetico fornire un nome chiaro e da tutti condiviso sulle caratteristiche dello strato; - *Layer Thickness*: spessore dello strato in millimetri; - *IsVentilated*; Non vengono esportate le caratteristiche termiche del singolo strato. Nelle proprietà sono indicate **superficie, volume e trasmittanza termica globale dell'elemento** (quest'ultima non è presente nel caso in cui il solaio confina con il terreno). Per gli elementi a contatto con l'esterno anche indicato True in corrispondenza della proprietà *IsExternal*. È inoltre chiarito il tipo di oggetto (.ROOF. o .FLOOR.) a seconda che si tratti di un soffitto o di un pavimento. Dal punto di vista geometrico, si sono individuati dei problemi nel posizionamento di solai in esportazione e in importazione, come quello mostrato in Figura 22.

		 **Figura 22: Dettaglio di una delle versioni del modello IFC esportato** Ciò è in particolare è avvenuto in un'istanza in cui si è aggiunto un elemento a parte rispetto al solaio di default definito per il livello (per rendere conto di una variazione delle condizioni al contorno, trattandosi dello stesso solaio, ma in un caso interno alla zona climatizzata e nell'altro confinante con l'esterno). Potrebbe essere spiegato, non tanto da un errore in sede di modellazione, quanto da un'interferenza tra questi due elementi che causa un errore in esportazione. In tal caso, l'unico modo di risolvere questo aspetto, attualmente, è stato intervenire manualmente modificando il file IFC utilizzando un visualizzatore BIM che lo permetta. A seconda della complessità del progetto, questa operazione può risultare alquanto onerosa e il problema di difficile individuazione.
IfcSpace	10	I locali creati nell'ambito dell'analisi energetica – a loro volta appartenenti a zone termiche facenti capo ad esempio a differenti generatori – vengono esportati come *IfcSpace*. A questi, in tale esportazione, vengono associate solo le proprietà di natura geometrica (volume, superficie, altezza netta media). Gli *spaces* sono, inoltre, associati al corrispondente piano (*IfcBuildingStorey*), ma non alla corrispondente zona termica. Va sottolineato, infatti, che i software di authoring prevedono la possibilità di creare vani e zone termiche, che sono ben identificati da delle apposite entità IFC (*IfcSpaces*, appunto, e *IfcZone*), e di associare a questi tutta una serie di caratteristiche sia statiche (ad es. le potenze installate) che dinamiche (ossia variabili in funzione del tempo, ad esempio, le *schedule* di utilizzo).
IfcWallStandardCase	113	Così come per i solai, le stratigrafie delle pareti sono esportate parzialmente e, in particolare, solo queste proprietà: - *Name*: risulta quindi necessario sul software energetico fornire un nome chiaro e da tutti condiviso sulle caratteristiche dello strato; - *Layer Thickness*: spessore dello strato in millimetri; - *IsVentilated*.

Anche in questo caso, non vengono esportate le caratteristiche termiche del singolo strato.
Nelle proprietà sono indicate lunghezza, altezza, superficie, volume e trasmittanza termica globale dell'elemento. Per gli elementi a contatto con l'esterno anche indicato *True* a fianco di *IsExternal*.

Si sono individuati dei problemi anche nell'esportazione delle pareti: in particolare, si è notato un errore nel posizionamento delle pareti nel file IFC, quando queste non sono modellate secondo il filo esterno.

Si noti, in particolare, come nella Figura 23 le pareti ai piani superiori, inserite utilizzando come profilo-guida la mezzeria del muro, risultino disallineate rispetto alle pareti ai piani inferiori, inserite secondo il filo esterno. Si può notare anche dal disallineamento rispetto alla parete degli *IfcOpeningElement* (assente nei piani inferiori in cui le pareti sono state modellate secondo il filo esterno).

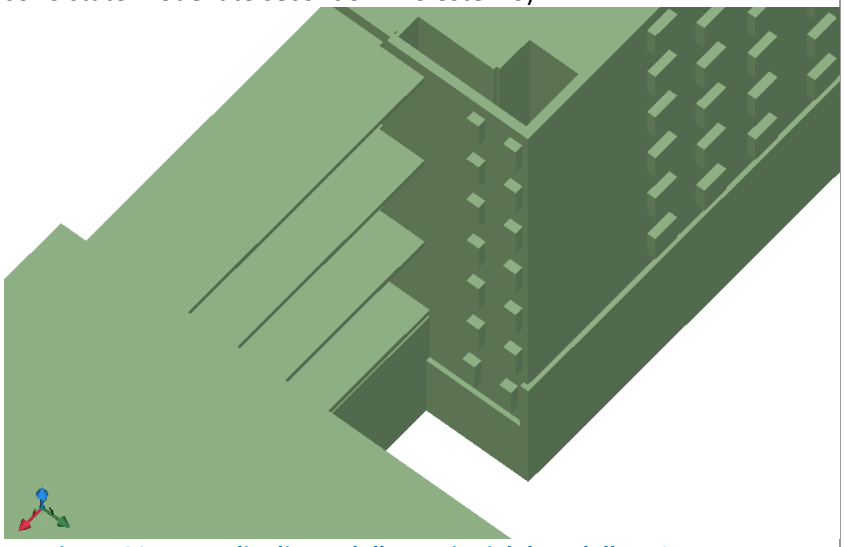


Figura 23: Dettaglio di una delle versioni del modello IFC esportato

Ridisegnando tutte le pareti secondo il filo esterno e rieffettuando l'esportazione, il problema risulta risolto, come mostra la Figura 24**.**

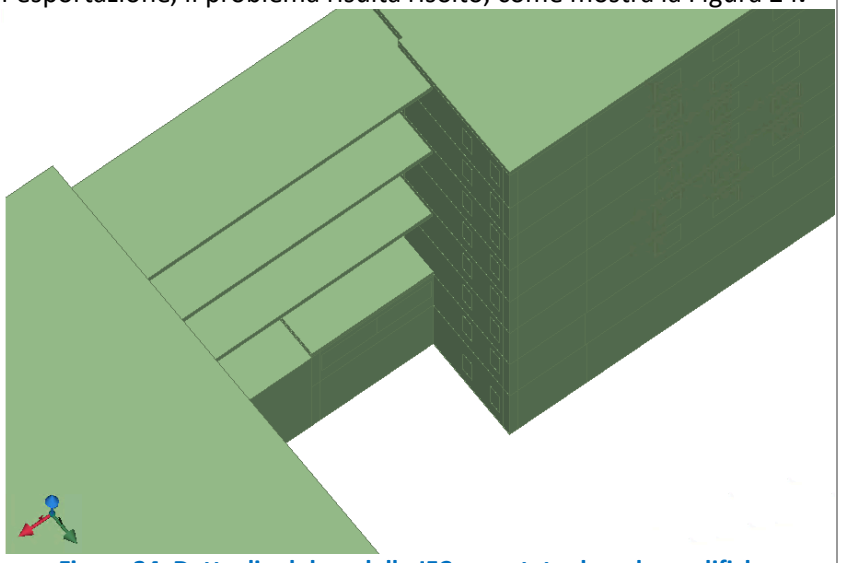
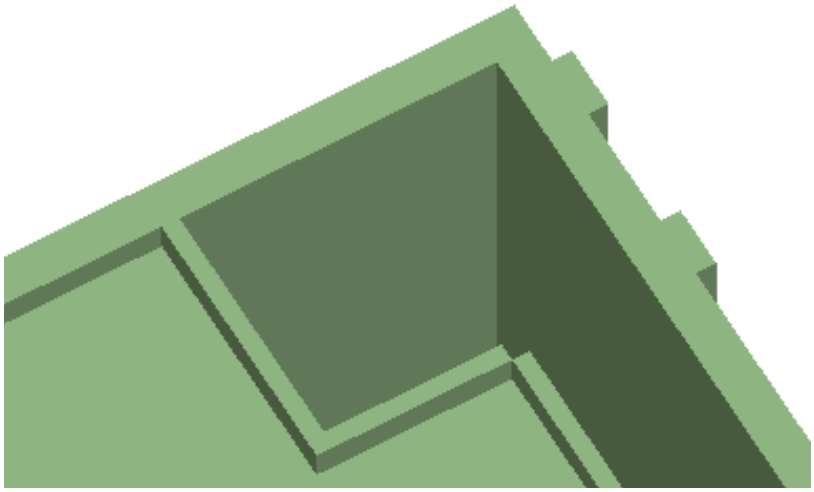


Figura 24: Dettaglio del modello IFC esportato dopo le modifiche

		Un problema di questo genere può essere risolto a livello di programmazione del software o, in maniera più immediata, attraverso delle chiare **istruzioni per la modellazione** finalizzata alla corretta esportazione IFC che siano fornite da ciascuna casa software ai propri utenti. In aggiunta, si sono notate delle problematiche nel raccordo fra pareti incidenti in alcuni punti del file IFC (Figura 25), ma non si sono individuate le possibili soluzioni al problema.  **Figura 25: Dettaglio del modello IFC esportato**
IfcWindow	122	Le finestre sono esportate dal punto di vista della geometria (dimensioni del telaio e del vetro sono individuabili nel modello IFC), mentre fra le proprietà (*PSet_WindowCommon*) vi sono le dimensioni complessive (altezza, lunghezza, perimetro, area). La trasmittanza complessiva e il rating acustico sono anche definiti. Non vi sono, invece, informazioni sul tipo di vetro e solo alcune delle proprietà associate alla finestra sono esportate nel file IFC. Le proprietà del *TypeObject* associate, inoltre, non sembrano corrispondere alle effettive proprietà dell'oggetto definiti in sede di analisi energetica.
IfcPresentation LayerAssignment	248	Fornisce il nome del layer (e, facoltativamente, una descrizione e un identificatore) per una raccolta di elementi di rappresentazione geometrica.
IfcTypeObject	244	Associato a porte, muri e finestre, definisce le informazioni specifiche su un tipo, essendo comuni a tutte le occorrenze di questo tipo. I*fcTypeObject* viene assegnato alle singole istanze di oggetti (occurrences). I termini "Tipo" e "Stile" sono spesso usati in modo intercambiabile. Le informazioni visualizzabili sotto "TypeObject" possono già essere visualizzate all'interno dell'oggetto cui si riferisce.

Analizzando il file IFC esportato dal modello della diagnosi energetica, si può osservare che l'esportazione IFC della diagnosi include solo le caratteristiche geometriche dell'edificio, con solo alcune informazioni termo-fisiche connesse ai componenti stratigrafici dello stesso (ad esempio, manca la conducibilità termica) e alcune informazioni generali (ad esempio, relative al sito dell'edificio). Non tutte le informazioni relative all'involucro vengono però esportate: i ponti termici, ad esempio, non vengono né esportati né visualizzati.

Solo parte dei locali termici viene esportata: i locali riscaldati confinanti, ma appartenenti ad altri edifici, e quelli non riscaldati, infatti, non vengono esportati. In aggiunta, i locali termici non vengono associati alle rispettive zone termiche e presentano informazioni solo di natura dimensionale. Non v'è ad esempio traccia, nel file IFC esportato, delle valutazioni fatte in sede di diagnosi in materia di impianti (dai carichi termici alle schedule di occupazione e utilizzo, alle portate di ventilazione…).

Le temperature "*tailored*" specifiche dell'anno/degli anni in esame possono essere esportate sotto forma di file .csv (e reimportate all'interno di altri software di analisi energetica), ma non possono essere associate al modello IFC esportato.

In generale, va in prima istanza sottolineato che esistono delle problematiche di "automazione" della condivisione delle informazioni dal modello BEM alla piattaforma BIM, per le quali è importante che i produttori di software si attrezzino per fornire delle **raccomandazioni specifiche per la modellazione degli edifici finalizzata all'esportazione IFC**, in quanto – come si è dimostrato nelle pagine precedenti – alcune accortezze nella modellazione possono evitare alcuni errori di esportazione del modello. Tale attività risulterebbe utile sia per i fruitori di un software che per i suoi produttori.

Ci sono, poi, anche delle **problematiche legate all'esportazione dovute al singolo software** che devono essere tenute in considerazione e che possono essere risolte attraverso l'ottimizzazione dell'esportazione: un'attività basata sullo studio di esempi specifici, come quella che si è svolta qui, può essere utile alle case produttrici per individuare quello che può essere ottimizzato a livello software nella esportazione, in direzione della piena interoperabilità.

Esistono al contempo delle **limitazioni legate al formato IFC**, che devono essere risolte a livello di standard. Si pensi, ad esempio, al tema dei ponti termici, per il quale non sembra per il momento esistere una soluzione per la loro esportazione secondo standard IFC. Va sicuramente evidenziata la necessità di ampliare i dati e le informazioni che dal modello della diagnosi è attualmente possibile includere nel file IFC esportato. Se, da un lato, l'esportazione "fisica" e geometrica del modello dell'edificio può considerarsi in generale presente anche se ottimizzabile, l'esportazione di locali e zone termiche, nonché delle informazioni di natura impiantistica ad esse associate, è – nello specifico software analizzato – assente, pur risultando fondamentale nell'ottica dell'interoperabilità e della migliore fruibilità del lavoro di diagnosi.

In tal senso, si ritiene utile fornire una **lista di contenuti minimi** (paragrafo 6.3) che il file IFC di una diagnosi deve contenere guidare le case software nell'individuazione delle informazioni necessarie per un'esportazione completa, anche se si ritiene che solo quando sarà disponibile una MVD ufficiale specifica per la diagnosi energetica e quando le case software aggiorneranno i propri applicativi per l'importazione e l'esportazione con la MVD stessa che si sarà sulla strada giusta per avere un processo informativo BIM pienamente interoperabile.

Quest'ultimo punto è uno degli obiettivi su cui il presente lavoro ha inteso concentrarsi per fornire un contributo all'avanzamento tecnico nel settore nonché a una maggiore diffusione dell'open BIM.

5.2 *Flusso di informazioni dal modello architettonico BIM al modello di diagnosi energetica BEM*

Parallelamente, il lavoro ha previsto la realizzazione di un modello architettonico dell'edificio di studio con un software di *authoring* BIM.

Sono numerosi i lavori che in letteratura hanno approfondito le tematiche dell'integrazione di software di *authoring* BIM e di strumenti per l'analisi energetica (chiamati, in maniera sintetica, software BEPS - Building Energy Performance Simulation), concentrandosi in misura preponderante sulla nuova costruzione.

Dalla loro *review* emerge che non si è ancora arrivati all'interoperabilità piena del processo di scambio informativo che possa garantire un trasferimento di dati automatico, completo e di qualità dallo strumento BIM al programma di simulazione energetica. Si riscontrano perdite di dati, incompatibilità tra gli applicativi software, mancanza di informazioni e differente lettura e interpretazione dell'informazione tra i due modelli (BIM e BEM). Come si vedrà anche dall'analisi del caso studio, varie sono le cause, e tra queste ruolo importante svolgono i singoli strumenti software disponibili.

In questo lavoro, osservando le relazioni tra gli stessi software di *authoring* e di modellazione e analisi energetica di cui ai precedenti paragrafi, si sono individuate opportunità e problematiche specifiche e si è acquisita una maggiore conoscenza sul tema dell'analisi energetica a partire dalla modellazione BIM.

Si è prima realizzato, con il software di *authoring* selezionato, il modello dell'edificio di studio introdotto al paragrafo 4. Questo è stato poi esportato in formato IFC e analizzato attraverso un visualizzatore BIM, per poi essere importato nel software di modellazione e analisi energetica: il tutto allo scopo di individuare ed esaminare i problemi di interoperabilità. Il processo è stato via via ottimizzato attraverso numerose iterazioni, mediante le quali si è via via perfezionato il modello BIM nel programma di authoring o anche si sono modificate le impostazioni di esportazione (MVD).

Obiettivo di questo lavoro, in questa fase, è – a partire dall'esperienza diretta su un esempio concreto, tenendo presenti gli studi scientifici di letteratura – definire delle **linee guida per la modellazione BIM interoperabile finalizzata alle analisi di tipo energetico**.

Si è inteso, inoltre, verificare l'attuale livello di interoperabilità attraverso l'attenta l'analisi del flusso di informazioni per ogni specifica tappa dell'attività sopra descritta, al fine di verificare quali dati vengono effettivamente scambiati e la qualità del dato stesso e definire, ove possibile, indicazioni per il superamento delle problematiche

Nella Figura 26 si riporta graficamente la metodologia di lavoro. Merita un approfondimento l'aspetto delle verifiche: le verifiche sono state effettuate (sul modello del file IFC esportato dal software di authoring e, poi, sul modello importato nel software di analisi energetica) senza l'ausilio di software Model Checker e le problematiche sono state identificate a partire dall'osservazione e dall'analisi dei file del modello stesso. In generale, in particolare nei casi più complessi, risulta fondamentale ai fini della corretta definizione del modello e della qualità del dato esportato/importato, l'utilizzo all'interno della piattaforma BIM di idonei software di model checking.

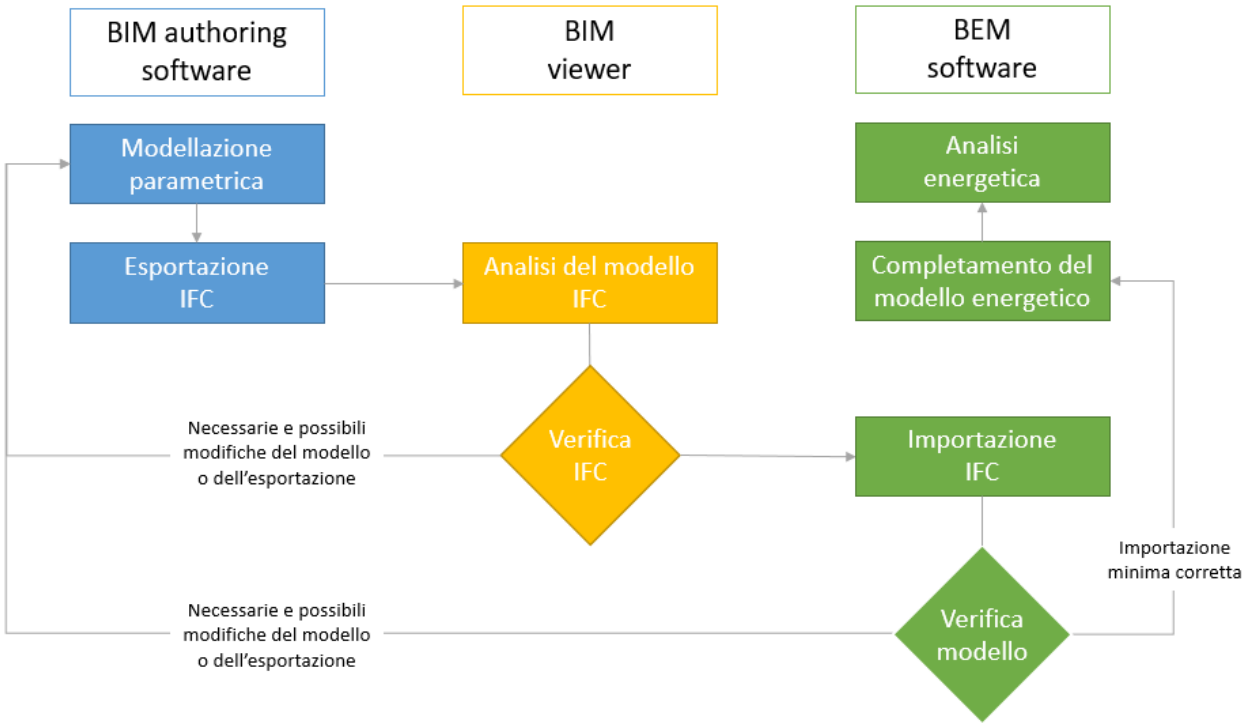


Figura 26: Metodologia di analisi

Il paragrafo esaminerà nel dettaglio il processo di modellazione parametrica, passando in rassegna gli elementi tecnici che costituiscono l'involucro disperdente dell'edificio (pareti perimetrali, coperture, serramenti etc.) e approfondendo gli aspetti connessi alla zonizzazione termica dell'edificio. In generale, è buona prassi definire in prima istanza tutte le tipologie di componenti opachi e trasparenti che costituiscono un edificio e, solo in un secondo momento, di avviare la modellazione.

Nell'ambito della modellazione parametrica delle **pareti perimetrali verticali**, è consigliabile in prima istanza definire nel dettaglio, ove possibile, le differenti tipologie di pareti che costituiscono un edificio. Nell'ambito della modellazione energetica, del resto, vale lo stesso principio: la differenza è che le sole pareti prese in esame sono quelle che costituiscono l'involucro disperdente dell'edificio, che devono anche essere differenziate sulla base degli ambienti con i quali sono messe a contatto. La stessa parete, infatti, assume valori di trasmittanza termica differenti, a seconda del tipo di ambiente con cui è a contatto.

Quando si hanno a disposizione elaborati progettuali di dettaglio riportanti l'identificazione degli oggetti anche ai fini energetici o schede tecniche, l'identificazione dei parametri fondamentali di una parete per le analisi energetiche può essere facilmente effettuata e le tipologie di pareti possono essere già definite nel dettaglio stratigrafico da parte del modellatore BIM (caso considerato nell'attribuire i parametri all'uso MO-modellazione dell'esistente in Tabella 26).

In altri casi – si pensi ad esempio alle murature storiche – può rivelarsi necessario un rilievo specifico o test diagnostici da parte di un tecnico con le dovute competenze di natura fisico-tecnica. La definizione nel dettaglio delle stratigrafie di una parete è, anche in questo caso e in generale, consigliata.

A tale proposito, in sede di **definizione delle stratigrafie delle pareti**, è consigliato che i singoli strati e materiali siano provvisti di nomi che li individuino in maniera chiara e non equivocabile: in questo modo, in assenza di una libreria comune di materiali a tutti i software che operano in ambiente BIM, sarà possibile un'attribuzione univoca dei materiali assegnati in fase di modellazione a quelli delle librerie del software di analisi energetica scelto per la diagnosi.

Comunemente, quando si realizza una diagnosi, una volta definita la stratigrafia nel dettaglio e le condizioni a contorno, sono i software di analisi energetica, ad esempio, a calcolare i valori risultanti di trasmittanza termica

e di trasmittanza termica periodica, ad effettuare le verifiche di condensa, ecc… Tanto più che possono esserci degli errori nella definizione degli stessi da parte del software di authoring che non è specificamente allo scopo progettato. Come esempio si riporta la problematica riscontrata in merito alla definizione della trasmittanza nel software di *authoring* in esame.

L'inserimento diretto del valore di trasmittanza termica di un componente non è possibile nel software di *authoring* in esame: questa infatti dev'essere calcolata a partire dalle caratteristiche degli strati che possono definirsi nell'editor di modifica del muro e nel browser dei materiali. Infatti, come si può notare nella Figura 27, la trasmittanza non può introdursi come proprietà della parete, ma può solo risultare dal calcolo fatto a partire dagli strati che la costituiscono.

Proprietà analitiche	
Coefficiente di scambio termico (U)	1.3470 W/(m²·K)
Resistenza termica (R)	0.7424 (m²·K)/W
Massa termica	25.03 kJ/K
Assorbimento	0.700000
Ruvidità	3

Figura 27: Tabella delle proprietà analitiche di una parete, ottenuta dal software di authoring BIM usato per la modellazione (si noti che il colore grigio chiaro di alcuni parametri ne indica la non modificabilità)

Dettaglio maggiore nella Figura 28, dove sono elencate le informazioni di natura termo-fisica che possono essere associate ai materiali costruttivi nel software in esame.

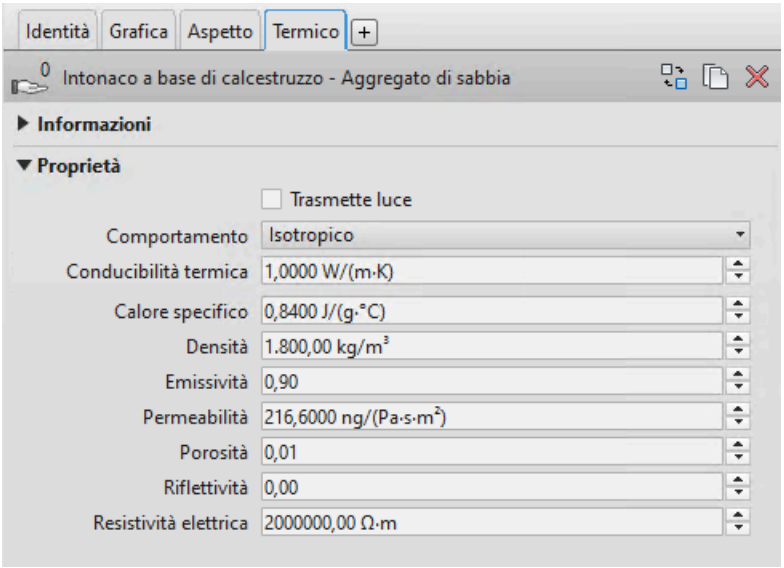


Figura 28: Schermata di modifica delle proprietà termiche dei materiali nel software di authoring

Fra le proprietà associabili, sono in effetti presenti le informazioni minime richieste per la definizione delle caratteristiche termiche di un materiale ai fini di una diagnosi. Tuttavia, il calcolo della trasmittanza termica nel software di *authoring* in esame porta a dei risultati incompleti perché non considera i coefficienti di scambio termico interno ed esterno che tengono conto degli scambi per irraggiamento e convezione delle superfici della parete analizzata con l'ambiente circostante. Questi, infatti, variano sulla base delle caratteristiche degli spazi con cui le sue facce sono a contatto. È quindi fondamentale ai fini del calcolo energetico, definire le relazioni di un componente con lo spazio circostante: la trasmittanza della parete è da questo influenzata oltre che dalle caratteristiche termo-fisiche degli strati che le costituiscono.

Entrando nel dettaglio del calcolo analitico, il valore corretto di trasmittanza termica della parete in Figura 27 non è 1,370 W/m²K (l'inverso della resistenza termica 0,7424 m²K/W, calcolata a partire dalle conducibilità dei

singoli strati), ma 1,095 W/m^{2}K, ottenuto con la seguente espressione che include l'adduttanza interna ed esterna:

$$U = \frac{1}{R + h_e + h_i} = \frac{1}{0{,}7424 + 0{,}04 + 0{,}13} \quad [\frac{W}{m^2\,K}]$$

In Tabella 19 sono elencate le informazioni per la caratterizzazione di un materiale/strato e di un componente opaco nell'ambito delle diagnosi energetiche; per ciascuna, viene indicato se si tratti di una proprietà di input da associare a uno strato/materiale o di una proprietà ricavata attraverso calcoli successivi, a partire dalle proprietà di input. La tabella mostra anche se il software di authoring BIM e il software BEM utilizzati permettano di inserire o ricavare correttamente le informazioni indicate in tabella.

Tabella 19: Informazioni per la caratterizzazione termo-fisica di materiali e componenti in una diagnosi

VALORI SINGOLI DI STRATI/MATERIALI	UNITÀ		SOFTWARE DI AUTHORING BIM	SOFTWARE BEM
Spessore (S)	m	Input	Sì	Sì
Conducibilità termica (**λ**)	W/mK	Input	Sì	Sì
Resistenza termica (R) - s/**λ**	m^{2}K /W	Ricavato	Sì	Sì
Densità	kg/m^3	Input	Sì	Sì
Calore specifico	J/gK	Input	Sì	Sì
Permeabilità al vapor d'acqua	kg/ms	Input	Sì	Sì

VALORI TOTALI DEI COMPONENTI	UNITÀ		SOFTWARE DI AUTHORING BIM	SOFTWARE BEM
Spessore (S)	m	Ricavato	Sì	Sì
Trasmittanza termica	W/m^{2}K	Ricavato	Sì*	Sì
Trasmittanza termica periodica	W/m^{2}K	Ricavato	No	Sì
Capacità termica interna	kJ/m^{2}K	Ricavato	No	Sì
Capacità termica esterna	kJ/m^{2}K	Ricavato	No	Sì
Verso esterno / locale a t fissa / locale non riscaldato	-	Input	No	Sì
Adduttanza interna	m^{2}K /W	Ricavato	No	Sì
Adduttanza esterna	m^{2}K /W	Ricavato	No	Sì

* nel calcolo mancano l'adduttanza interna ed esterna: trasmittanza non corretta

Come si può vedere nella Tabella 19, è necessario quindi il software di analisi energetica per definire nel dettaglio e correttamente tutte le informazioni necessarie alle analisi energetiche.

Per completezza, in Figura 29 si riportano le finestre del software di *authoring* per la definizione e la modifica delle proprietà e delle stratigrafie delle pareti.

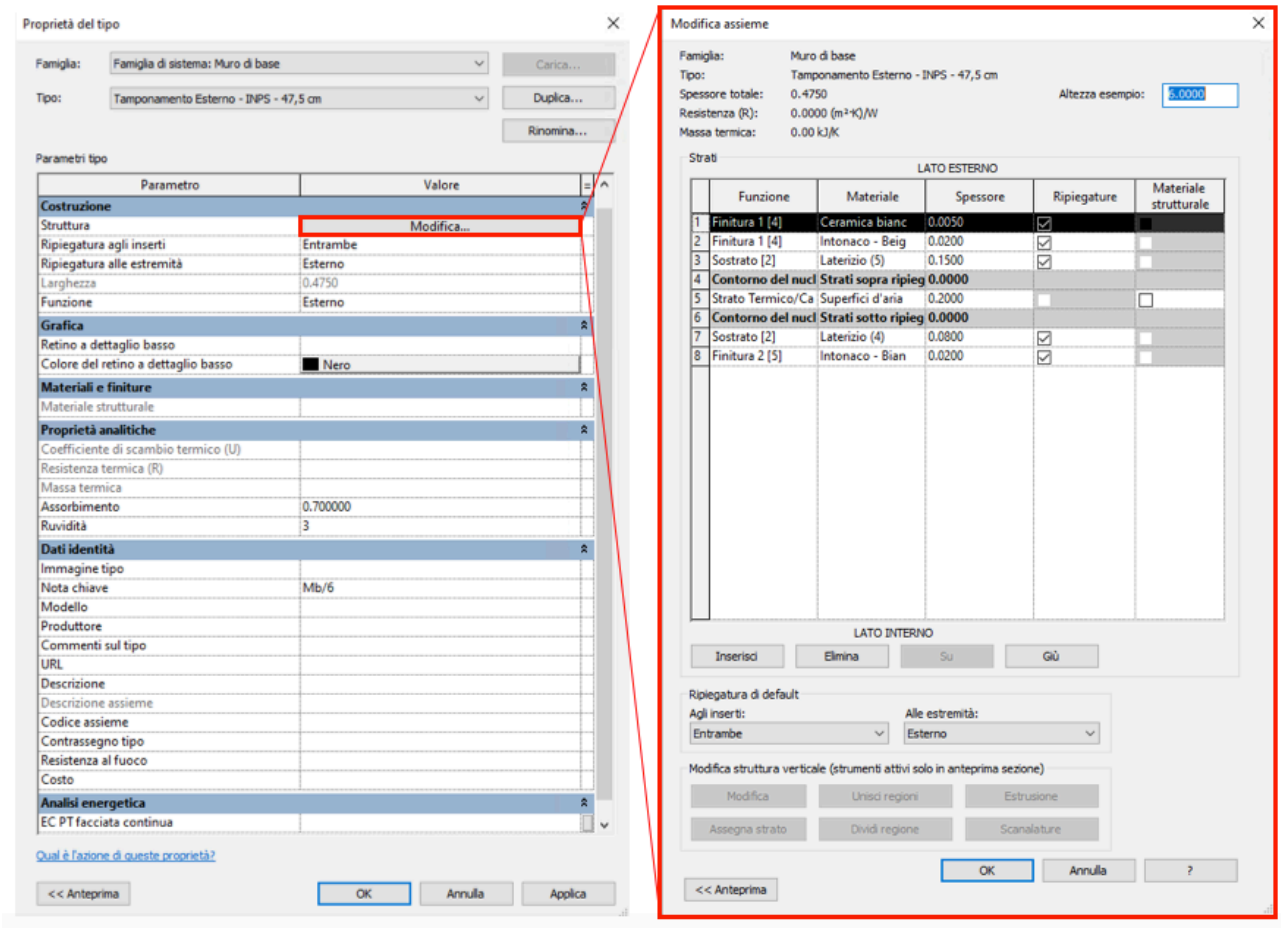


Figura 29: Schermate del software di authoring per la definizione delle proprietà di una parete perimetrale e la modifica e la caratterizzazione della stratigrafia

Definita la tipologia di parete da inserire, la parete va collocata nel modello. Un aspetto che ha creato delle difficoltà sull'esportazione della parete stessa all'interno del modello sul quale si ritiene utile fornire dei suggerimenti per una modellazione interoperabile finalizzata alle analisi energetica, è costituito dalle relazioni fra le pareti perimetrali ed i solai interpiano.

Quando vengono modellati i solai, in particolare, il software chiede se associarvi o meno le basi e le sommità delle pareti. Le casistiche sono due:

- Nel caso in cui si tratti di **pareti perimetrali inserite** (con tamponamenti interni rispetto al filo esterno della struttura) occorre, in fase di modellazione dei pavimenti, associare la base e la sommità delle pareti ai solai.
- Viceversa, le **pareti perimetrali semi-inserite o a cortina** (con tamponamenti in parte o completamente esterni rispetto al filo delle strutture), in fase di modellazione dei pavimenti, devono essere dissociate dai solai.

In assenza di questi accorgimenti, il modello può non risultare rispondente alla reale configurazione dell'edificio (si veda ad esempio l'immagine a sinistra in Figura 30, in cui la finitura della parete semi-inserita si interrompe in corrispondenza dei solai): modifiche puntuali nel modello primitivo delle quote di offset inferiore o superiore possono ovviare a questo problema in fase di modellazione, ma potranno permanere incongruenze all'atto dell'importazione nel software di analisi energetica, come si è sperimentato in una delle numerose interazioni.

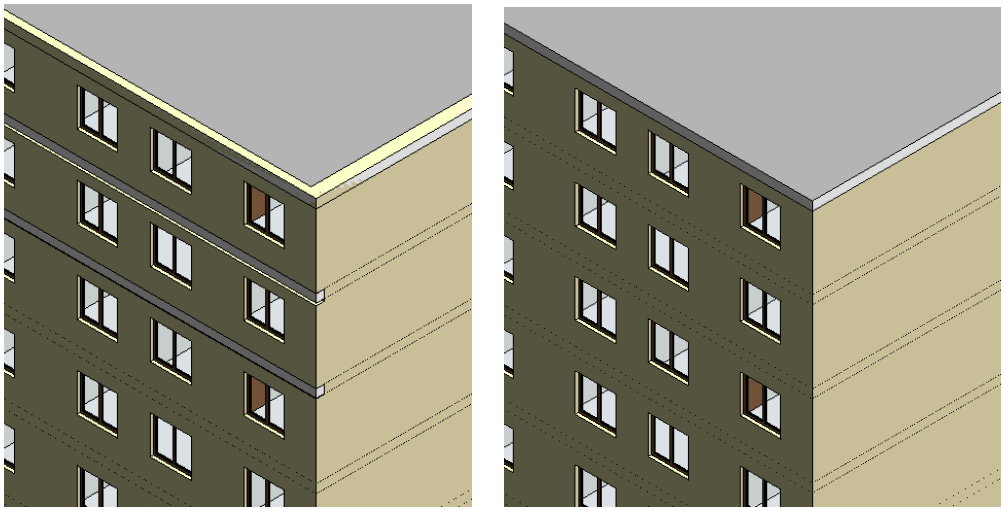


Figura 30: Immagini del modello dal software di authoring raffiguranti esempi di pareti semi-inserite con le basi e le sommità associate ai solai interpiano (a sinistra) dissociate dai solai interpiano (a destra)

Va sottolineato che gli elementi strutturali, quali ad esempio pilastri (*Ifc Column*), non vengono importati all'interno del software di analisi energetica. Le pareti, pertanto, risultano "interrotte" nei punti in cui erano presenti tali elementi. Può quindi risultare necessario un lavoro di modifica manuale del modello energetico, da un lato per ripristinare la continuità delle pareti, dall'altro per tenere conto dell'effetto in termini di prestazione energetica degli elementi strutturali. In particolare, un tipo specifico di ponte termico è in grado di tenere conto dell'effetto in termini di prestazione energetica della presenza di elementi strutturali puntuali (quali i pilastri) e questo può essere inserito in fase di modellazione energetica direttamente nella parete costituente l'involucro. Non si tratta, per il momento, di un'attività automatizzabile.

Le considerazioni fatte per le pareti perimetrali verticali, in relazione alla caratterizzazione di stratigrafia e materiali, valgono anche per le **strutture orizzontali opache** come, ad esempio, i solai interpiano[24]. Questi elementi, tuttavia, anche quando modellati nel software di *authoring* come soffitti o pavimenti (a seconda del verso di trasmissione del calore) vengono esportati come *IfcSlab* nel file IFC, creando dei problemi di interpretazione in fase di importazione nel file di modellazione e analisi energetica. Nel caso in esame, è stato necessario, verificare e modificare le assegnazioni dei componenti del modello.

Si possono a questo punto introdurre alcune raccomandazioni e considerazioni riassuntive per la modellazione geometrica e la caratterizzazione termo-fisica delle strutture opache verticali e orizzontali di un edificio all'interno del software di authoring analizzato:

- Attribuire agli elementi nomi chiari e inequivocabili che siano condivisi e utilizzati da tutti gli attori della filiera;
- Nominare nell'editor dei materiali delle proprietà del tipo gli strati costituenti l'elemento in maniera chiara, evitando spazi fra parole e caratteri speciali[25] (ad esempio, si sono notati dei problemi di "interpretazione" in fase di importazione di strati che nel nome contenessero apostrofi); in tal senso, può risultare utile creare un sistema – come, ad esempio un foglio di calcolo o una tabella – in cui tutti gli strati e/o materiali utilizzati all'interno del progetto per la definizione delle pareti siano identificati e associati al corrispondente elemento della libreria del programma di analisi energetica

[24] Non si sono approfonditi gli aspetti connessi alle coperture inclinate.

[25] Anche l'Agenzia del Demanio, nella sua "LINEA GUIDA Processo BIM (Building Information Modelling)" prescrive che: «*…la nomenclatura dei materiali sia priva di spazi e di caratteri speciali quali, ad esempio, (. , / \ & $ € ? ! " ^ * + ° § @ = ÷ < > [ ] { } ~ ‰ £ ¥ % !). I campi della codifica dovranno essere separati dal carattere score (-) e gli eventuali spazi tra le parole presenti nel medesimo campo dovranno essere sostituiti dal carattere underscore (_)….*» [17].

che si utilizza[26](si ritiene opportuno sottolineare che questa è una indicazione per al superamento di problematiche di interoperabilità di tipo proprietario);
- Per caratterizzare dal punto di vista termo-fisico le stratigrafie nel software di authoring, è necessario che siano definiti correttamente tutti i parametri minimi elencati nella Tabella 19;
- Indicare – nelle proprietà del tipo – se il muro è esterno o interno e utilizzare i commenti per aggiungere ulteriori dettagli rilevanti (ad esempio, le caratteristiche dell'ambiente confinante).
- Quando la stessa parete è sia interna non disperdente, ma anche – per esempio – a contatto con un ambiente non riscaldato, può essere utile duplicare la stessa parete indicando già nel nome tale caratteristica. Questo potrebbe rendere più spedito e meno soggetto ad errori il completamento del modello energetico; ad ogni modo, sarà sempre nel software di analisi che si dovranno verificare i risultati in termini di trasmittanza.

Con queste accortezze, esportato il file IFC del modello BIM e importato nel software di analisi energetica, le pareti del modello risultano correttamente esportate, in termini di posizione e stratigrafia.

Passando alle **chiusure trasparenti e, in particolare, ai serramenti[27],** occorre fare prima di tutto un distinguo fra la creazione di un modello BIM di un edificio di nuovo progetto/costruzione e la realizzazione di un modello *as built* di un edificio esistente finalizzata alla riqualificazione energetica (che è quella che si sta approfondendo in questo lavoro). Dal punto di vista degli obiettivi, queste sono due attività ben distinte. In un caso, è richiesto un livello di definizione in grado di identificare nel dettaglio un prodotto (dal nome del prodotto alla marca, dalla sagoma/sezione esatta dell'infisso al tipo di maniglia…); nell'altro, invece, vi sono delle informazioni specifiche minime che devono essere fornite affinché le analisi delle prestazioni energetiche possano essere portate avanti senza lacune (considerando l'uso analisi energetica; stesse considerazioni possono essere estese per altri usi del BIM eventualmente previsti dal soggetto proponente).Gli editor di finestre dei software di analisi energetiche sono spesso forniti di un'interfaccia grafica che guida il tecnico nella definizione del componente finestrato e dei suoi sub-componenti (telaio, vetro, elementi di schermatura, sottofinestra, cassonetti di serrande). Tutti i parametri – di natura sia geometrico-quantitativa sia qualitativa – che questa richiede sono quelli che devono, in sede di rilievo, essere tenuti in conto dal tecnico che effettua la diagnosi. I software di *authoring* non permettono di inserire direttamente tali parametri nel modello (a meno di specifici plug-in proprietari non interoperabili).

Al momento, per definire le finestre nel software di *authoring* che si è approfondito nel presente lavoro, è necessario avere a disposizione una famiglia parametrica che identifichi lo specifico tipo di finestra. Ad esempio, per realizzare delle finestre "a quattro ante" (ossia con 3 divisori verticali), occorre prima di tutto importare una famiglia/un tipo di finestra "a quattro ante", dopodiché modificarne le dimensioni per adattarle a quelle del progetto e definirne i parametri base. Trovare le famiglie interoperabili corrette per lo specifico progetto non è sempre possibile o semplice. Molto spesso, inoltre, dati che non corrispondono alla realtà del progetto e che non sono significativi ai fini delle analisi energetiche (come, ad esempio, le caratteristiche delle maniglie) vengono inevitabilmente inseriti nel modello attraverso l'uso di famiglie prefabbricate, spesso già associate a uno specifico prodotto in commercio.

Se per il nuovo, l'esatta definizione del prodotto da installare in tutti i dettagli, compresi i sub-componenti, è fondamentale, nell'ambito delle riqualificazioni dell'esistente i dettagli dipendono dagli usi del BIM e dai conseguenti requisiti informativi richiesti dal committente nel CI. Inoltre, non sempre le famiglie scaricabili a disposizione permettono di intervenire sui parametri che interessano le analisi energetiche, per questo si considera conveniente realizzare delle *famiglie parametriche ad hoc*, in cui i parametri geometrici richiesti per le analisi energetiche siano inseribili, utilizzabili ed esportabili. Oltre ai parametri di natura geometrica, ci sono

[26] Associazioni eventualmente salvabili fra le impostazioni del proprio tool di analisi energetica e quindi riproponibili, ove necessario.

[27] I "Curtain wall" realizzati nel software di authoring presentano numerosi problemi di esportazione: per il momento, la questione non sarà tenuta in considerazione.

informazioni quali il tipo di vetro, il materiale degli infissi che devono inoltre essere definiti all'interno del software.

Tuttavia, per il momento, quando il file IFC viene estratto ed importato nel programma di analisi energetica, la configurazione dei serramenti si perde: le dimensioni totali rimangono, ma quelle del telaio si perdono, i divisori orizzontali e verticali non compaiono e alcune proprietà devono essere reintrodotte. Si tratta di un limite del software di analisi energetica che importa solo determinate informazioni dell'infisso. In questo modo è necessario modificare puntualmente i serramenti del progetto, con perdite di tempo e possibilità di errori. Si pensi a quegli edifici con decine di finestre dello stesso tipo, ma con piccole differenze ad es. in termini dimensionali o di tipo di vetro… La modellazione parametrica (con la distinzione fra tipi e famiglie[28]) e l'esportazione automatica di abachi degli infissi è una grandissima opportunità nella direzione della semplificazione del lavoro dei tecnici. Per completezza, la famiglia è "Finestra a 4 ante", il tipo è ad esempio la specifica finestra a 4 ante di dimensioni 1 x 2 m.

Osservando la Figura 31, si notano le proprietà che, in due finestre di default del programma di *authoring*, è possibile attribuire a un infisso.

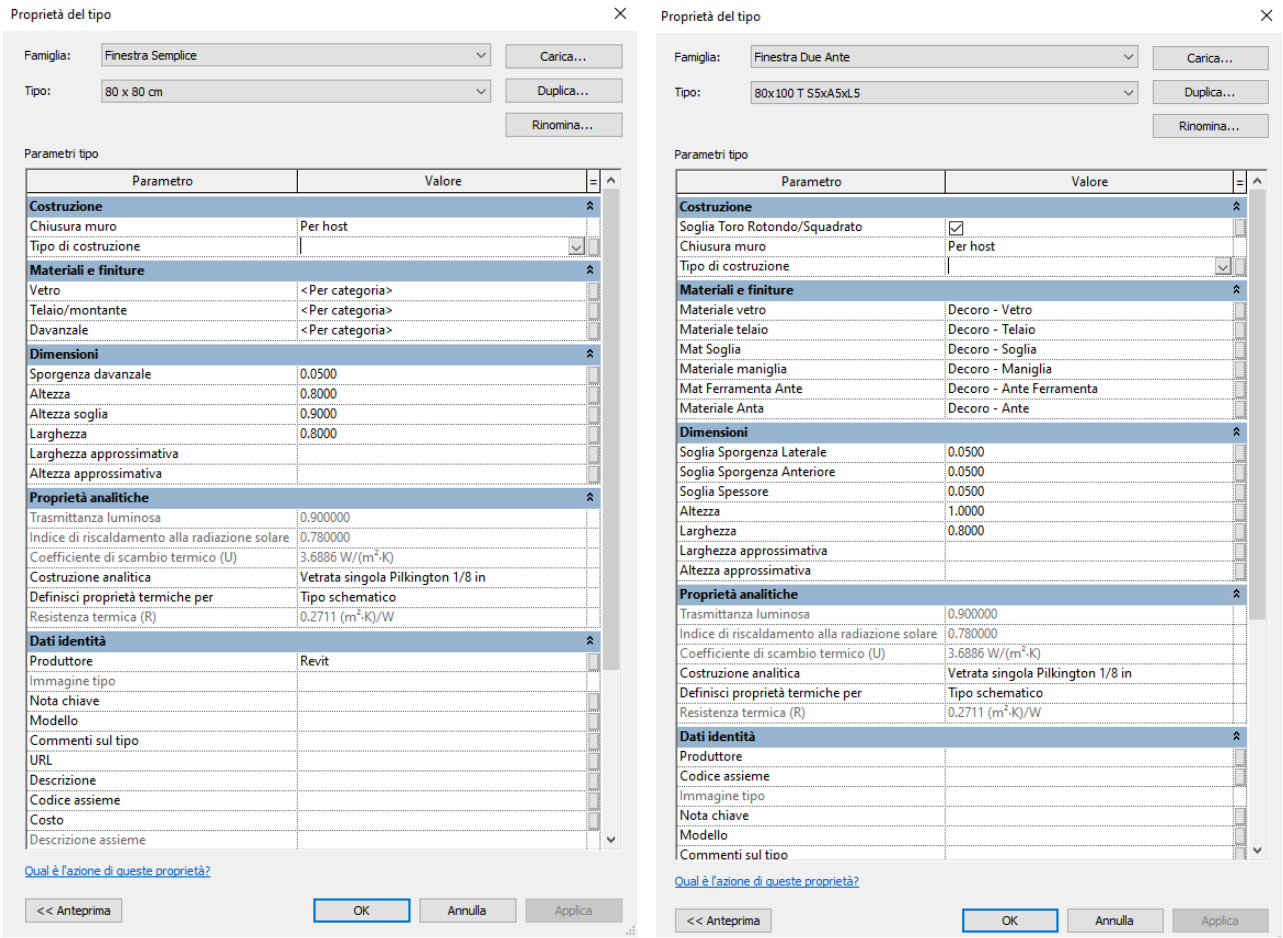


Figura 31: Schermate del software di authoring per la definizione delle proprietà di due finestre

Nel riquadro dimensioni entrano in gioco i parametri che sono stati definiti in sede di creazione della famiglia e, come si può vedere, a seconda della famiglia di partenza possono esservi delle differenze nella maniera in cui i parametri vengono definiti nonché sul tipo di parametro richiesto. La stessa considerazione vale per i materiali costituenti la finestra.

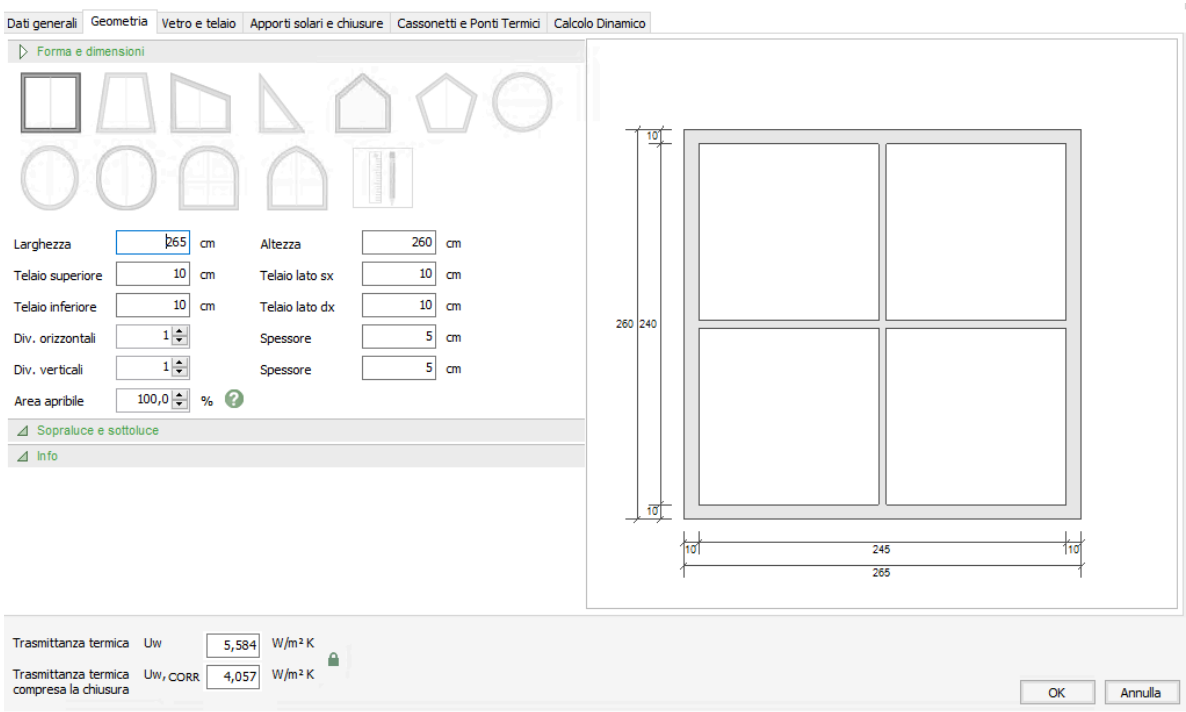
[28] Nel caso specifico, la famiglia è quella delle "Finestre a 4 ante": all'interno di questo gruppo, si possono definire differenti tipi di finestre a 4 ante, ad esempio, con dimensioni o di materiali differenti…

Osservando le proprietà analitiche, invece, si nota come vi sia la possibilità per l'utente di definire la finestra attraverso l'attribuzione diretta delle proprietà globali:

- **Trasmissione luminosa**: necessaria per le analisi di *daylighting*;
- **Indice di riscaldamento alla radiazione solare**: il cosiddetto *g-value* (o SHGC);
- **Coefficiente di scambio termico**, ossia la trasmittanza U (W/m^{2}K), inverso della resistenza termica.

Raramente tali proprietà sono già note negli edifici esistenti, oggetto di diagnosi: sono, come già sottolineato, i software di analisi energetica a definirle a partire dalla geometria dell'infisso e dalle caratteristiche dei sub-componenti. Viceversa è anche possibile fare un'analisi di tipo schematico: le caratteristiche succitate vengono calcolate sulla base della tipologia di vetro, selezionata a partire da un elenco di opzioni possibili[29].

Anche in questo caso, quindi, è necessario il software di analisi energetica per definire nel dettaglio i materiali con tutte le informazioni necessarie alle analisi energetiche. Nelle schermate in Figura 32, prese dall'editor finestre del software di modellazione e analisi energetica analizzato, sono illustrate tutte le informazioni necessarie per la definizione di un serramento dal punto di vista delle prestazioni energetiche.



[29] Si tratta chiaramente di un'approssimazione semplificativa e il risultato non è corrispondente alla reale prestazione del componente finestrato.

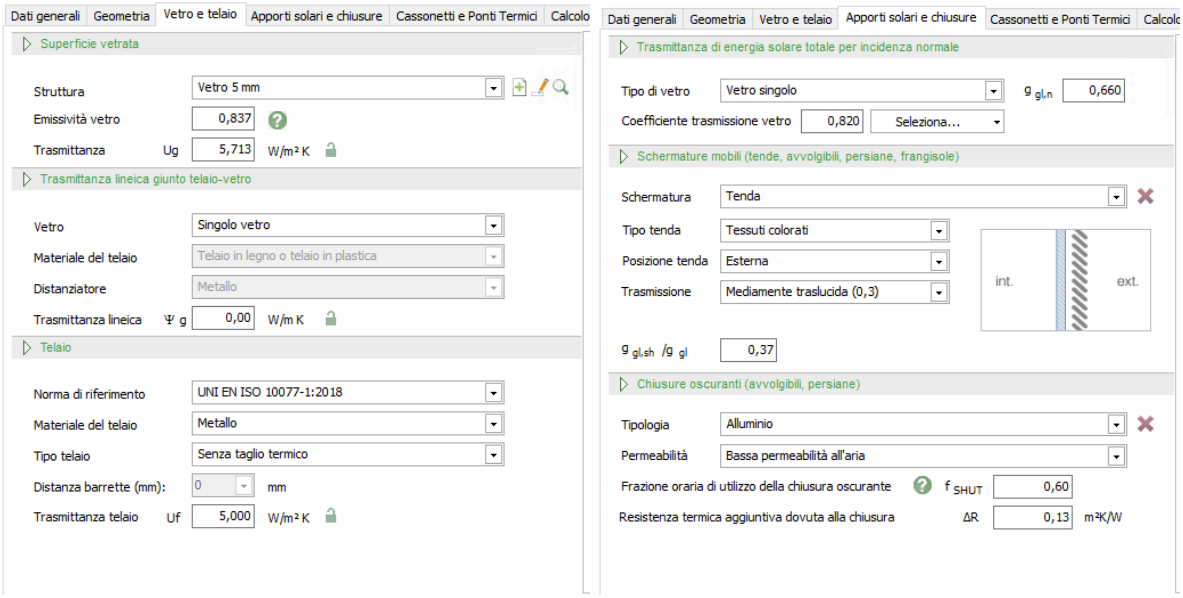


Figura 32: Informazioni necessarie per la definizione di un serramento

Per definire una finestra in termini di forma, si può immaginare di poter creare diverse "famiglie" di finestre parametriche, all'interno delle quali definire i "tipi" specifici. Ad esempio, una "finestra a 4 ante" che non era disponibile di default nel software di authoring utilizzato, è stata creata come famiglia, introducendo i parametri modificabili della Tabella 20. Come si può vedere, il numero dei divisori verticali non è un parametro modificabile, essendo questo parte integrante della famiglia, ma il loro spessore sì.

Tabella 20: Parametri modificabili inseriti nella creazione della famiglia parametrica di un serramento

Spessore telaio superiore, inferiore, destro, sinistro	Larghezza ante
Spessore dei divisori orizzontali e verticali	Altezza di davanzale
Larghezza globale	Materiale del telaio
Altezza globale	Tipo di vetro

In questo modo, si crea una famiglia di finestra parametrica a quattro ante riutilizzabile all'interno dello specifico progetto e, quando appositamente archiviata, anche in altri progetti. Per la massima interoperabilità, la creazione delle famiglie parametriche per i serramenti dovrebbe essere realizzata utilizzando l'esatta terminologia dei parametri dei file IFC (*IFC Data Dictionary*) in modo da permettere una interoperabilità piena nell'esportazione e nell'importazione.

Utilizzando un linguaggio standard comune per i parametri di base per la definizione di famiglie dei serramenti, si potrebbe semplificare il processo di interpretazione dei file IFC importati nei software per l'analisi energetica, senza perdere informazioni preziose come il numero e lo spessore dei divisori interni, il tipo di vetro, ecc…

Per quanto concerne le **porte**, queste non risultano visualizzabili nel modello tridimensionale nello specifico software di analisi energetica che si è utilizzato, mentre nelle piante dei vari livelli lo sono. Esse sono importate come elementi precalcolati ed è necessario associarvi il relativo valore di trasmittanza direttamente sul software BEM per poterle studiare anche sul piano energetico. Nel caso di studio, solo due tipologie sono state esportate – le porte a una e a due ante, corrispondenti a due famiglie distinte – senza permettere una distinzione fra porte interne ed esterne e la corrispondenza in termini di nomi degli elementi non risulta precisa. Tali aspetti incrementano le operazioni, all'interno del software di modellazione e analisi energetica, per il completamento del modello energetico, rallentando il processo e aumentando il rischio di errori.

Il software di *authoring* utilizzato permette anche di definire, all'interno degli edifici, **vani e zone**: i primi, ad esempio, si usano per memorizzare i valori utilizzati per l'esecuzione di analisi dei carichi di riscaldamento e

raffreddamento nel modello di edificio; i secondi per definire vani o raggruppamenti di essi controllabili da sistemi di controllo ambientale, ad esempio sistemi di riscaldamento, di raffreddamento e di controllo dell'umidità, che mantengono le stesse condizioni di temperatura, umidità, ecc... Più semplicemente i vani sono creati per definire spazi che hanno requisiti ambientali e di progetto comuni [16].

Facendo un confronto con il software di analisi energetica i vani corrispondono ai cosiddetti **locali termici**, mentre le zone alle **zone termiche**. I vani non devono essere confusi con i locali, sebbene entrambi siano esportati in IFC come entità "IfcSpace". Locali e vani hanno infatti caratteristiche simili, ma sono componenti indipendenti utilizzati per scopi diversi: i locali sono componenti architettonici utilizzati per mantenere le informazioni sulle aree abitabili, mentre i secondi sono utilizzati per i calcoli energetici e impiantistici, come ad esempio per l'esecuzione di un'analisi dei carichi di riscaldamento e raffreddamento. I vani (IfcSpace) possono essere a loro volta raggruppati in zone (IfcZone).

Come già sottolineato, i vani sono l'unità di base che nei software di authoring e nei file IFC si utilizza per le definizione/analisi delle proprietà utili alle analisi energetiche (dalle schedule di utilizzo alla destinazione d'uso, dai carichi termici alle portate di ventilazione…). I vani devono essere realizzati in modo da coprire l'intero volume dell'edificio, incluse le aree non riscaldate.

Le zone hanno altresì un'importanza fondamentale nell'analisi energetica in quanto, raggruppando le informazioni comuni a più vani (o locali), riducono la complessità del calcolo energetico rendendolo più facilmente gestibile. A seconda della tipologia di edificio, la suddivisione in zone è infatti fortemente raccomandata. Ad esempio, in un edificio per uffici, uffici di simili caratteristiche e serviti dallo stesso impianto – come nel caso di studio – si trattano spesso tutti come un unico locale termico, anche se separati da divisori interni, in modo da semplificare la gestione del file e ridurne la complessità.

Nel software di *authoring* analizzato, i contorni dei vani non possono essere modellati, in quanto corrispondono alle pareti che delimitano gli spazi all'interno di un edificio. Selezionando un punto interno a uno spazio racchiuso da pareti, il vano viene automaticamente definito. I vani possono anche rilevarsi in maniera automatica per ogni piano. È consigliato controllare in pianta, ma soprattutto in sezione, che i vani siano modellati correttamente, ossia che non vi siano sovrapposizioni fra componenti edilizi delimitanti l'ambiente e il volume del vano e che non vi siano vuoti all'interno dell'edificio. In particolare, l'altezza di un vano viene definita nella tab delle proprietà del vano, va quindi verificato che effettivamente l'altezza definita corrisponda a quella effettiva dello spazio esaminato, soprattutto in considerazione della possibile variabilità delle altezze di ambienti diversi in un edificio. Anche i contorni delle zone termiche non possono disegnarsi in maniera indipendente – cosa invece possibile nel software di modellazione e analisi energetica – in quanto esse possono essere create solo a partire dal raggruppamento di vani.

Di seguito, in Figura 33 si riporta una schermata delle proprietà attribuibili ai vani nel software di *authoring* esaminato, mentre in Figura 34 si possono leggere i parametri per l'analisi energetica che possono essere definiti sulla base destinazione d'uso dello spazio.

Osservando i parametri che possono attribuirsi a un vano all'interno del modello di un edificio, risulta evidente che la modellazione BIM interoperabile può essere di grandissimo aiuto a un tecnico che effettua una diagnosi, in quanto permette di immagazzinare (inventariare, per usare un termine familiare al mondo delle diagnosi energetiche) in un modello interattivo e interoperabile tutta una serie di informazioni fondamentali sull'edificio e sui suoi sistemi impiantistici. Risulta altresì evidente come la zonizzazione termica di un edificio richieda delle competenze, da un lato, di modellazione parametrica e, dall'altro, di fisica tecnica, che non sempre coesistono in una stessa figura professionale. Per questo, la formazione in ambito BIM di un numero sempre più alto di tecnici – uno degli obiettivi di questo lavoro – risulta di grandissima importanza.

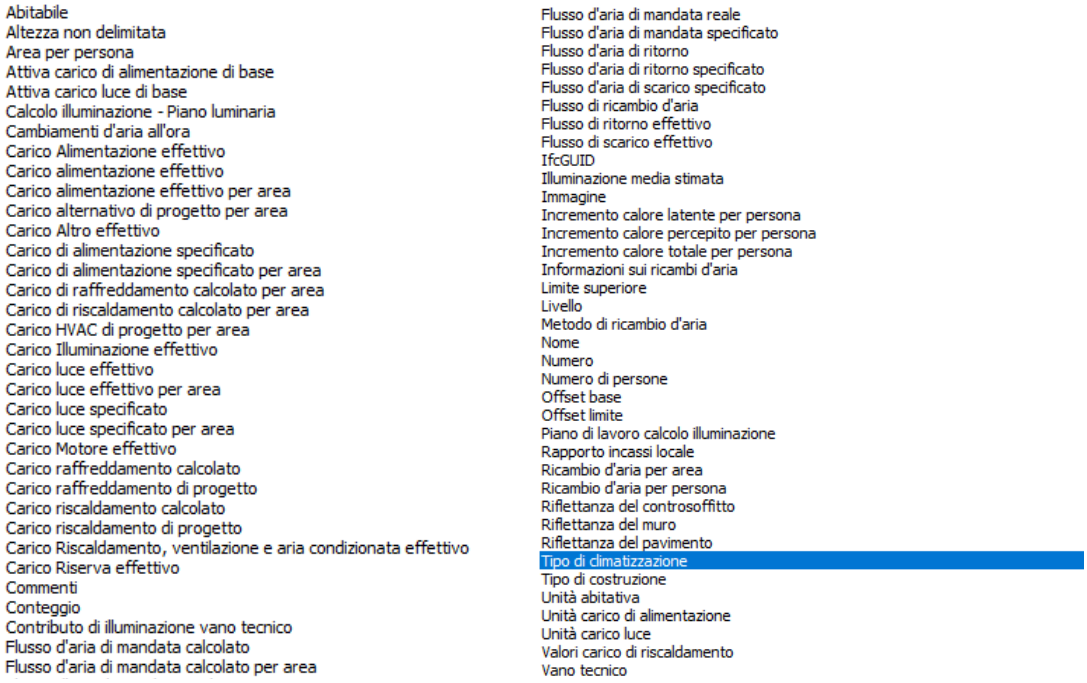


Figura 33: Elenco delle proprietà attribuibili ai vani (schermata dal software di *authoring*)

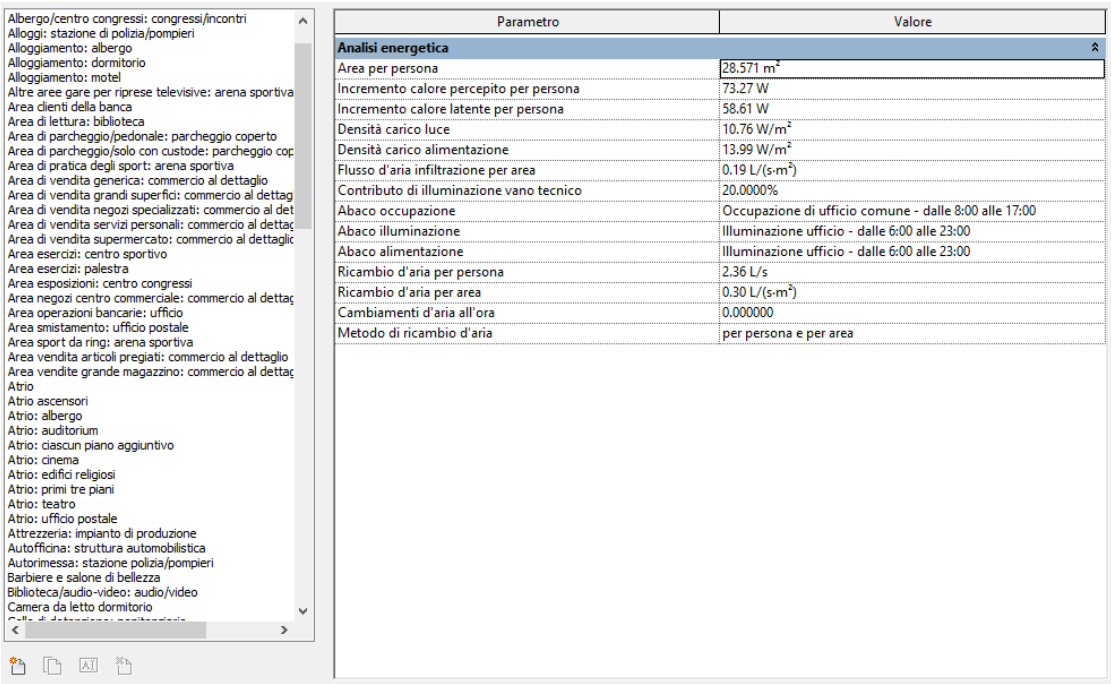


Figura 34: Parametri energetici definibili in funzione dell'uso del vano (schermata dal software di *authoring*)

In questa fase, si sono definite per l'edificio di studio le stesse zone termiche definite nel software per la diagnosi energetica, senza entrare nel dettaglio della definizione delle caratteristiche termofisiche e impiantistiche degli ambienti. Osservando gli aspetti connessi all'esportazione IFC e alla successiva importazione nel software di analisi energetica, si può notare che solo i vani riescono ad essere importati come Ifc*Spaces*, ma solo per quanto concerne le caratteristiche geometriche-spaziali.

In base a quanto appena detto, la creazione di locali e zone termiche, e le relative "attribuzioni" si rimandano al software di analisi energetica in questa fase; si possono però individuare dei casi, ad esempio, quando un'analisi vano per vano è suggerita, in cui la definizione automatica delle zone termiche sul software di *authoring* può

essere utile a velocizzare il lavoro del tecnico che effettua la diagnosi. L'ampliamento delle informazioni importabili all'interno del software di analisi energetica risulta ancora più significativo in tal senso.

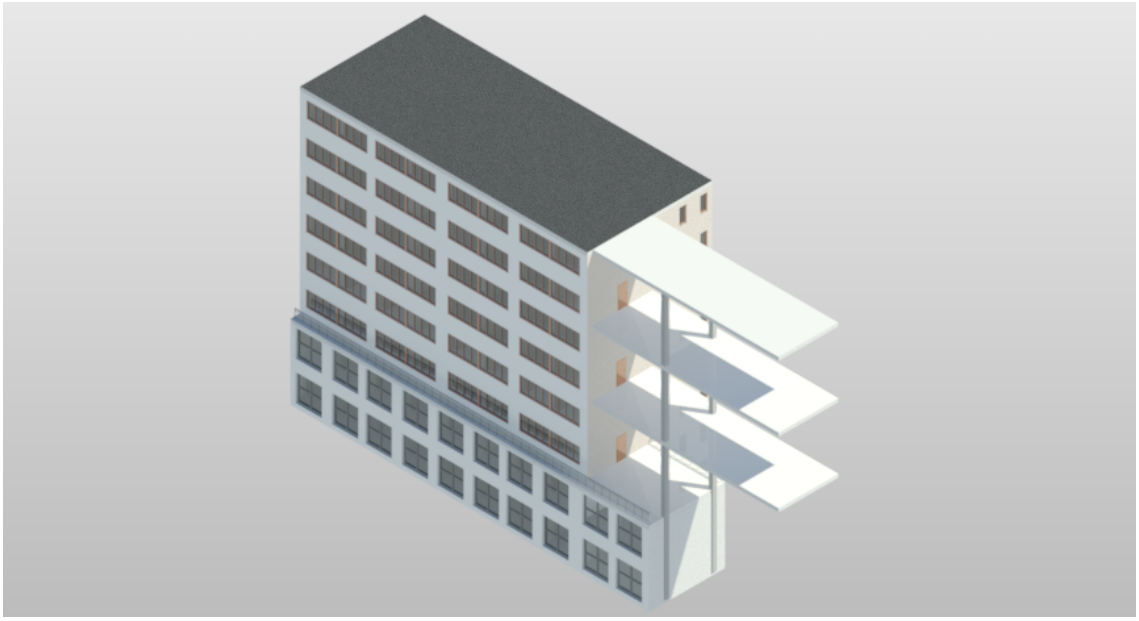


Figura 35: Modello BIM dell'edificio di studio (dal software di authoring)

Dopo aver realizzato il modello BIM ed effettuato le necessarie ottimizzazioni ai fini dell'importazione del modello all'interno del software di analisi energetica, delle quali si è parlato all'interno di questo paragrafo, è possibile esportare il file in formato IFC dell'edificio di studio. Analizzato il modello IFC esportato e verificata l'assenza di errori di geometria[30], è possibile procedere all'importazione del modello nel software di analisi energetica per completare la diagnosi. Dopo alcuni tentativi, si è optato per un'esportazione secondo la Model View Definition (MVD) standard, proposta da buildingSmart a livello internazionale, conosciuta come "*IFC2x3 Coordination View*"[31].

Osservando il processo specifico, con i due software presi in esame, si può affermare che attraverso la corretta associazione dei materiali/strati definiti nel software di authoring con i materiali/strati del software di analisi energetica, le informazioni relative alla geometria dell'edificio e ai componenti di involucro – opachi, in particolare (pareti e orizzontamenti) – risultano esportate in maniera corretta. Questo può rappresentare una semplificazione del lavoro per il tecnico che effettua la diagnosi, che troverebbe già svolto il lavoro di modellazione. Si tratta, in questo caso, di una indicazione volta all'interoperabilità fra i due software proprietari specifici. Questa non rappresenta il fine ultimo di questo lavoro che è, invece, come più volte detto nel testo, l'interoperabilità "aperta" in ottica open BIM. Tuttavia, non si è voluta trascurare, nell'attività di ricerca, l'attenzione alla fase transitoria in atto verso un'adozione diffusa del BIM, sia guardando allo studio della particolare circostanza in cui si realizza il modello energetico BEM al di fuori di un processo BIM, sia dando le indicazioni atte a risolvere problemi specifici che l'utilizzo di strumenti software specifici pongono. Tutto

[30] Questo lavoro è generalmente affidato, soprattutto per i modelli più complessi e analisi molto di dettaglio, ad applicativi per il *Model Checking* (che, tuttavia, non saranno oggetto di quest'analisi).
È bene precisare che la qualità e la correttezza della rappresentazione geometrica del modello BIM è fondamentale, come "d'importanza è la qualità dei file IFC di input; in caso di errori geometrici o altre inesattezze potrebbe essere difficile descrivere questo processo. È per questo motivo che il controllo del modello per garantire una buona qualità del file IFC è un prerequisito importante" [18]. È bene che il rilevamento automatico degli errori e delle incoerenze geometriche (controllo) sia effettuato in fase di esportazione, prima dell'importazione e in maniera automatica mediante software di Model Checking.

[31] La MVD "IFC4 Design Transfer View", sebbene sia versione più aggiornata, è stata scartata in questo processo, in quanto ha generato, nello specifico software di analisi energetica utilizzato, numerosi problemi di geometria nel modello in fase di importazione.

questo allo scopo di dare delle soluzioni immediate, per quanto parziali, nel tentativo di stimolare l'applicazione del BIM e l'innovazione.

Un suggerimento specifico per ottimizzare il lavoro è di spuntare – nella schermata con le opzioni di importazione del software BEM – l'opzione che richiede se "spezzare le pareti in corrispondenza di sovrapposizione": questo permette di computare correttamente le superfici degli elementi appartenenti alle varie zone, che altrimenti dovrebbero essere verificate puntualmente e aggiustate manualmente, riducendo anche il rischio di errori difficili da individuare.

Al di là delle problematiche individuate a partire dall'esperienza specifica sul caso studio, dopo l'importazione, infatti, vi sono tutta una serie di **attività di controllo e completamento** delle stratigrafie e del modello, nonché di caratterizzazione di locali, zone termiche ed impianti, che sono necessarie per portare avanti il lavoro di diagnosi. Occorre, in particolare:

- Aggiungere le caratteristiche del sito;
- Creare e definire zone e locali termici;
- Verificare gli elementi d'involucro e definire le caratteristiche degli ambienti a contatto con essi (ad es., oltre che, genericamente, con un interno ed un esterno una parete può confinare con il terreno, ambienti non riscaldati, zone riscaldate appartenenti a edifici vicini, ecc… ciò ha degli effetti sulla trasmissione di energia attraverso l'elemento);
- Individuare e posizionare i ponti termici;
- Settare gli impianti, dai sistemi di generazione a quelli di emissione;
- Definire eventuali ombreggiamenti (questi, in effetti si possono inserire direttamente sul software o importare se sono stati individuati come parte del modello BIM importato);

Occorre inoltre verificare:

- La stratigrafia delle pareti (ad esempio, controllare il corretto posizionamento e la corretta definizione degli strati);
- Eventuali errori di geometria generati nell'importazione (in alcuni casi, può rivelarsi necessario correggere manualmente determinati aspetti del modello);
- L'impostazione delle finestre (come già sottolineato, infatti, le finestre vengono esportate solo parzialmente e risulta necessario inserire i valori "globali" già calcolati a parte o modificarle direttamente sul file).

Alcune delle attività di controllo e completamento di cui si è appena fatta menzione potrebbero essere rese non necessarie, attraverso un intervento di ottimizzazione dell'importazione IFC da parte delle case software finalizzato a rendere l'importazione ancora più efficace e completa.
Al termine dell'importazione e delle procedure sopra elencate, il modello può essere considerato completo.

5.2.1 Validazione della metodologia utilizzata

In questo paragrafo, si esplicita la procedura che si è seguito per la validazione sperimentale della metodologia utilizzata per la realizzazione di diagnosi energetiche in ambiente BIM, sull'edificio reale a destinazione ufficio (circa 2090 m^2 di superficie riscaldata).

Nei paragrafi precedenti, si sono seguiti due percorsi distinti per realizzare una Diagnosi energetica dell'edificio per uffici scelto come caso studio:

- Il primo ha previsto soltanto l'impiego di un software di analisi energetica per la realizzazione del modello geometrico (semplificato) dell'edificio e del modello energetico del sistema edificio-

impianto[32]; si è, infine, effettuata l'esportazione sotto forma di file IFC dei risultati della diagnosi e si è analizzato il modello esportato;

- Il secondo ha previsto la realizzazione su un software di BIM *authoring* di un modello BIM dettagliato dell'edificio di studio che è stato esportato e successivamente importato e completato all'interno dello stesso software di analisi energetica per la realizzazione della diagnosi.

Ai fini di quest'attività di ricerca, si è realizzato il modello BIM dell'edificio di studio ex novo per definire delle linee guida specifiche per la corretta modellazione BIM finalizzata alla diagnosi energetica.

La metodologia definita per le diagnosi energetiche in ambiente BIM, è stata validata a partire dal confronto qualitativo dei modelli e quello quantitativo dei risultati ottenuti sul software di analisi energetica.

In Figura 36, sono mostrate due schermate dal software di modellazione e analisi energetica oggetto di studio: una riproduce la sezione orizzontale del piano secondo del modello realizzato a partire dal file importato dal software di authoring e una quella dello stesso piano del modello realizzato per la diagnosi, ampiamente descritto al paragrafo 4. Si nota il maggior dettaglio connesso ai divisori interni e alle porte, riportati nella loro totalità nel modello proveniente dal software BIM.
Nella Tabella 21 sono messi a confronto i risultati in termini di involucro dei due modelli. Dall'analisi dei risultati, si osserva come la differenza in termini di superficie disperdente (A_{tr}), è inferiore al 10%. Dato il maggiore dettaglio, come anche osservabile dalla Figura 36, il modello realizzato a partire dal software BIM si può ritenere più preciso dal punto di vista geometrico, ma si nota che il risultato generale in termini di prestazione energetica dell'involucro non varia significativamente. Se si pongono, infatti, a confronto i coefficienti di scambio termico per trasmissione risultanti (H_{tr}), si osserva una differenza percentuale prossima allo 0%, il che dimostra la validità del modello realizzato e dell'approccio adottato.

Tabella 21: Confronto dei 2 modelli dell'edificio di studio analizzati all'interno del lavoro: quello realizzato nell'ambito della diagnosi e quello realizzato a partire dal file IFC esportato dal software di authoring

	Modello Diagnosi	Modello importato	Confronto
Zona riscaldata	**H_{tr} (W/K)**	**H_{tr} (W/K)**	**ΔHtr (%)**
Uffici impianto A-B-C	1.382	1.349	-2,4%
Uffici impianto D-E-F	984	1.041	5,8%
Uffici impianto G-H	942	982	4,2%
Uffici impianto L-M	1.090	1.038	-4,8%
Totale	**4.399**	**4.410**	**0,2%**

[32] Per la realizzazione della diagnosi, si sono tenute in considerazione le linee guida per le Diagnosi Energetiche negli edifici della pubblica amministrazione 105[2].

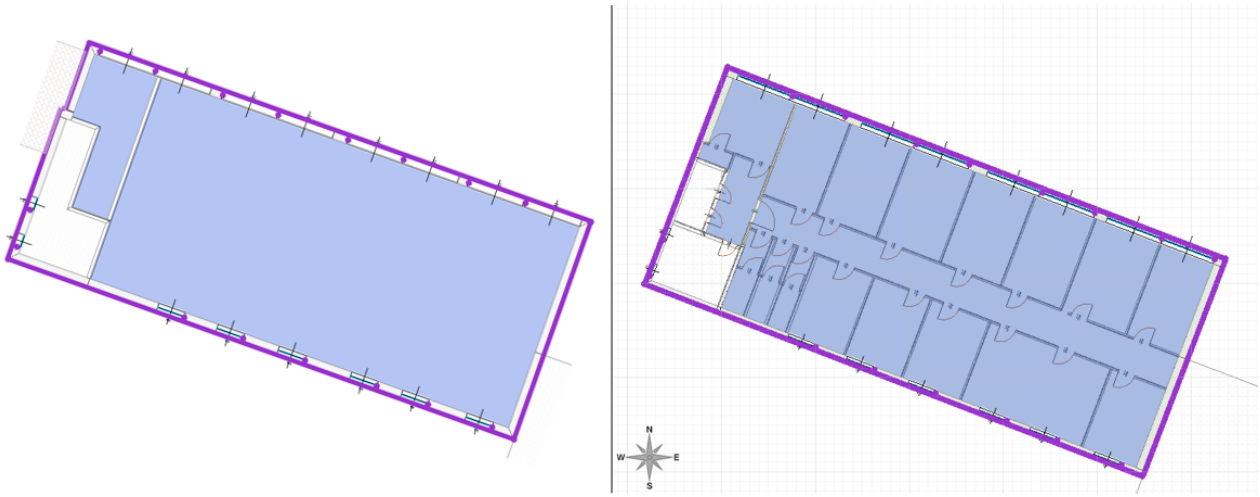


Figura 36: I due modelli a confronto: a sinistra, quello – semplificato – realizzato nell'ambito della diagnosi e sotto quello realizzato a partire dal file IFC esportato dal software di authoring

In questa fase, si è deciso di fermarsi alla validazione della geometria e delle caratteristiche termofisiche dell'involucro dell'edificio di studio e di non procedere con la definizione del sistema impiantistico né con l'esame dei relativi consumi sul software di analisi energetica (già ampiamente descritti al capitolo 4). Questa procedura, infatti, è stata già portata a termine sul modello energetico che in Tabella 26 è indicato come "Modello Diagnosi", la cui rispondenza al "Modello importato" dal software di BIM authoring è stata appena validata. Di conseguenza, anche la valutazione degli interventi migliorativi – fase susseguente all'analisi dei consumi energetici del sistema edificio-impianto – non è stata inclusa nelle considerazioni, non rientrando negli obiettivi di questo confronto fra le due procedure analizzate.

Il software di analisi energetica analizzato permette un'importazione della geometria e delle stratigrafie del file IFC esportato dal software di authoring, ma c'è ancora molta strada da percorrere prima di poter parlare di piena interoperabilità. Dopo l'importazione del modello – realizzato secondo le linee guida e le raccomandazioni contenute al paragrafo 5.2 – e completato attraverso i passaggi aggiuntivi elencati, si è però dimostrato di poter procedere alla diagnosi senza dover rimodellare l'edificio di studio e con **risultati più precisi e più rapidi**. I vantaggi di questo tipo di approccio in termini di precisione e di rapidità di valutazione sono tanto più evidenti quanto maggiore è la complessità dell'edificio di studio, ma soprattutto in funzione di un utilizzo della diagnosi energetica all'interno di un processo BIM.

È, tuttavia, necessario un buon livello di preparazione da parte dei tecnici e la definizione di un processo specifico per la migliore interoperabilità, perché un modello BIM non esportato correttamente o da ricontrollare e correggere in maniera estesa dopo l'importazione nel software di analisi energetica rischia di annullare i vantaggi connessi all'approccio BIM: è anche in questa direzione che il lavoro ha inteso fornire il suo contributo.

6 Processo informativo della diagnosi energetica in ambito open BIM

In questo capitolo, partendo dalla diagnosi energetica eseguita sul caso studio secondo la procedura standardizzata prevista nelle linee guida per le DE elaborate da ENEA, tenendo presente la metodologia IDM/MVD per l'implementazione dell'interoperabilità dello scambio informativo tra software diversi, nonché tenendo presente l'obiettivo ultimo del nostro lavoro che prevede per il proseguo della ricerca la definizione di linee guida per le diagnosi energetiche in modalità BIM, si descrive il contributo che si è cercato di dare con questo lavoro verso la piena interoperabilità nel processo informativo della diagnosi energetica in ambito BIM.

La necessità di definire il flusso di lavoro della diagnosi energetica BIM per l'input dei dati al modello BIM necessario per popolare lo stesso di tutte le informazioni richieste per la predisposizione del modello BEM per la DE, unito alla necessità di definire un processo secondo standard aperti internazionali (metodologia IDM/MVD), ha portato ad inserire l'attività nel contesto dello sforzo che si sta compiendo a livello internazionale, per la definizione di una MVD specifica per l'analisi energetica, passando attraverso la definizione di un IDM specifico per l'analisi energetica (Capitolo 3).

In particolare, le attività svolte in questo lavoro, che sono propedeutiche all'obiettivo finale di ricerca - le linee guida delle Diagnosi energetiche in ambito BIM - s'inseriscono perfettamente nel processo di implementazione di un Information Delivery Manual (IDM) relativamente alla definizione della mappa di processo (Paragrafo 6.2) e dei requisiti di scambio (Paragrafo 6.3). Non si arriverà alla completa definizione dell'IDM in quanto non è oggetto di questo lavoro.

Per quanto riguarda l'IDM, si rimanda al lavoro del primo anno di ricerca [1] per approfondimenti, mentre di seguito si riportano descrizioni utili alla comprensione del lavoro svolto.

L'Information Delivery Manual (IDM) definisce, con una procedura standardizzata secondo la norma tecnica UNI EN ISO 29481-1:2017 [41] il processo informativo BIM andandone a determinare l'ambito, i flussi di lavoro e i requisiti per gli scambi. Un IDM specifico per la diagnosi energetica permetterebbe di identificare con chiarezza, per tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, quali informazioni vanno trasmesse, per quale scopo, in quale momento e in quale formato vanno trasmesse, chi ne è il fornitore e chi ne sarà l'utilizzatore. Darebbe, inoltre, certezza che **le informazioni** che si stanno utilizzando sono **accurate e sufficienti** per le simulazioni energetiche da svolgere e per le attività con esse collegate.

Per la definizione del processo si è tenuto in considerazione la UNI EN ISO 29481-1:2017 [41] e il documento [13] che descrive la metodologia proposta da buildingsSMART International per la produzione dei manuali di consegna delle informazioni (IDM) e delle definizioni di vista del modello (MVD). Per l'implementazione di un IDM prevedono la definizione dei seguenti componenti:

- La **mappa di processo** (flusso di lavoro e flusso di informazioni) che definisce per ogni attore la sequenza delle attività dallo stesso eseguite e le relazioni con scambio di informazione con le attività degli altri attori. Sono anche previste la **mappa d'interazione**, che definisce i ruoli coinvolti e gli eventi di comunicazione (transizioni) da predisporre quando l'attenzione è più sulle interazioni e sulla garanzia dei protocolli di comunicazione tra i ruoli e la corrispondente **mappa di transazione** che dettaglia, le transizioni, ovvero i messaggi in un evento di comunicazione e le regole che si applicano alla sequenza di esecuzione (queste ultime due mappe non sono oggetto di questo lavora)
- I **requisiti di scambio**, che vengono identificati nella mappa del processo per descrivere tutte le informazioni necessarie per un determinato scambio informativo tra ruoli diversi. Ad esempio, nel processo di analisi energetica identificano le informazioni che devono essere fornite dal modello BIM *as built* (predisposto dall'architetto) al modello BEM (predisposto dal REDE) per l'esecuzione dell'analisi energetica. Un requisito di scambio rappresenta la connessione tra processo e dati e per essere definito devono essere perfettamente identificate le esigenze dell'attore a valle.
- Il **Modello dei requisiti di scambio** (Exchange Requirements Models - ERM) per organizzare le informazioni attraverso diagrammi di relazione tra entità che definiscono ogni informazione da scambiare e la collegano a concetti della MVD consentendo così di verificare se l'IDM soddisfa tutti i requisiti di scambio dell'ERM.
- Una **Guida BIM generica** che dettagli gli oggetti e i dati che il modello BIM deve contenere per lo specifico uso, che sarà utilizzata dall'utente finale per verificare che il software certificato sia conforme alla IDM e MVD di riferimento. Successivamente, i fornitori di prodotti software certificati, potranno sviluppare specifiche linee guida.

Tra questi, oggetto del lavoro di ricerca sono la definizione della mappa di processo per le diagnosi energetiche e l'individuazione dati minimi alla stessa necessari, come illustrati nei paragrafi che seguono.

Per contestualizzare la DE lungo il ciclo di vita dell'edificio, il processo informativo relativo all'analisi energetica viene esplorato non solo con riferimento allo specifico uso energetico, ma anche in relazione a tutti gli altri usi del BIM nelle varie fasi della vita dell'edificio che potrebbero, in qualche modo, essere con essa collegati da uno o più requisiti di scambio: dalla definizione delle scelte progettuali, all'approvvigionamento in fase di costruzione, alla verifica, al controllo e all'ottimizzazione in fase di gestione.

Più precisamente, l'**IDM** a cui ci si riferisce in questo lavoro, è relativo **all'analisi energetica di edifici esistenti**, Nel dettaglio si è proceduto a definire:

- Gli scambi informativi della diagnosi con gli usi del BIM lungo l'intero ciclo di vita (paragrafo 6.1).
- La mappa del processo della diagnosi energetica, che individua il flusso di lavoro e flusso delle informazioni, (paragrafo 6.2.5) definita partendo dalle linee guida per le diagnosi energetiche degli edifici [2] e dal rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 [3]. La norma di riferimento per la definizione del processo è la UNI EN ISO 29481-1 [41].
- I dati minimi che sono necessari per la definizione di una DE (paragrafo 6.3) che porterà:
  - All'individuazione dei dati di input per il modello BIM nativo al fine di popolare lo stesso di tutte le informazioni richieste per la predisposizione della diagnosi energetica;
  - All'individuazione della condivisione delle informazioni e dei dati della diagnosi energetica con gli altri usi del modello nelle varie fasi del ciclo di vita con essa connesse.

6.1 Scambi informativi della diagnosi energetica con gli usi del BIM lungo l'intero ciclo di vita

Come ribadito anche dalla UNI EN ISO 19650, per un processo BIM di successo è fondamentale che gli obiettivi del progetto siano perfettamente definiti dal soggetto proponente e che siano ben chiari e a tutti i protagonisti del processo. Da questi obiettivi discende l'identificazione delle attività che devono essere svolte con l'utilizzo del BIM per il raggiungimento dei risultati del progetto, in breve devono essere definiti gli "usi del BIM" (o BIM uses) e devono essere esplicitati gli scopi per cui il modello informativo viene richiesto e gli utilizzi che sono previsti per lo stesso (usi del modello o model uses)[33].

La definizione degli *Usi del BIM* da parte del Committente nel Capitolato Informativo (o EIR) è, dunque, strettamente collegata agli obiettivi dell'organizzazione aziendale e della commessa, definiti dal soggetto proponente negli OIR, PIR e AIR, già discussi nel dettaglio al paragrafo 2.2.1.

Conoscere gli usi del BIM è fondamentale affinché ogni partecipante al processo possa conoscere quale sarà l'utilizzo finale delle informazioni sviluppate durante lo specifico processo nelle varie fasi del ciclo di vita. Ad esempio, il modellatore BIM quando inserisce l'oggetto finestra nel modello, deve sapere se è previsto l'utilizzo del modello per l'analisi energetica, in modo che l'oggetto contenga tutti i dati e i parametri necessari per le simulazioni energetiche (trasmittanza termica dell'infisso, conducibilità del vetro, ecc.). L'importanza degli usi non riguarda solo lo sviluppo del modello ma anche la verifica e il controllo della qualità e dell'accuratezza delle informazioni [28].

Da questo si intuisce che l'individuazione degli usi del modello è propedeutica e fondamentale per la definizione dei livelli di fabbisogno informativo (*level of Information need*) in quanto questi dipendono non solo dalle varie fasi del processo, ma anche dagli scopi per cui vengono richiesti. Gli aspetti geometrici, alfanumerici e documentali cambiano in base agli utilizzi che si faranno del modello (ad es. analisi energetica, analisi strutturale, ecc.).

I modelli specifici del singolo uso sono predisposti dai rispettivi progettisti/tecnici, ma è fondamentale definire gli scambi informativi e le connessioni tra i vari usi lungo tutte le fasi del ciclo di vita. Queste connessioni possono dipendere anche da quanto previsto dalle normative e dagli standard di riferimento. Nel caso di

[33] Nel testo vengono usati indistintamente le due terminologie usi del BIM e usi del modello, intendendo così per quest'ultimo, **quelli riferiti al dominio delle costruzioni**. Infatti gli Usi del Modello hanno un campo di applicazione più ampio che può investire vari domini ed inglobare i molteplici usi che possono essere fatti del modello in tutti i settori (BIM uses, GIS uses, ecc...)

specie, non va considerata, quindi, la sola fase di diagnosi energetica, ma vanno analizzate tutte le fasi del processo edilizio con essa connesse, per definire come ciascuna delle parti interessate sia coinvolta nello scambio di informazioni e come le informazioni del modello energetico (inteso in senso generale) siano fornite/utilizzate lungo l'intero processo (studio di fattibilità, progettazione esecutiva, costruzione, gestione e manutenzione). A questo fine, uno degli obiettivi dell'attività di ricerca è stato analizzare e definire non solo i parametri di input della diagnosi energetica, ma anche i parametri di output (Paragrafo 6.3), per la concretizzazione di una necessaria interoperabilità bidirezionale del flusso di informazioni BIM to BEM. Infatti, vale la pena ricordare che l'analisi approfondita dei dati presenti nel file IFC esportato dal modello BEM del caso studio ha avuto lo scopo di verificare le attuali possibilità di condivisione delle informazioni nel flusso di lavoro dal BEM alla piattaforma BIM, partendo dal modello BEM per la diagnosi energetica appositamente realizzato.

Sono numerosi gli studi che si sono occupati di definire un elenco dei possibili usi del BIM per il processo di costruzione degli edifici, e la ricerca è ancora in atto. Ad esempio, BIM Excellence [27] ha individuato 211 differenti model uses che cataloga in tre differenti domini; ma ai fini di questo lavoro, si è fatto riferimento allo studio della Pennsylvania State University (PSU) che definisce anche la procedura e gli strumenti di supporto per l'identificazione degli usi disponibile online [29], [30].

La classificazione della PSU è disponibile online [26] e raggruppa i differenti usi del BIM nelle quattro fasi principali del ciclo di vita dell'edificio:

- Progettazione preliminare,
- Progettazione definitiva,
- Costruzione,
- Gestione.

Il processo edilizio integrato relativo alla riqualificazione energetica di edifici esistenti mostrato in Tabella 22, è definito a partire dalla matrice dei casi d'uso del BIM nelle fasi di progettazione della PSU [26]. In Tabella 22 è riportata, anche, l'analisi di come la diagnosi energetica si inserisce in questo processo, ovvero quali connessioni e quali possibili scambi informativi può avere con gli altri usi in ognuna delle fasi principali. Le considerazioni tratte sono di carattere generale, essendo ogni specifico processo peculiare in quanto basato sui requisiti informativi definiti dal committente per soddisfare le proprie esigenze e i propri obiettivi, nonché per adempiere a quanto previsto dagli standard e dalle normative applicabili o quanto richiesto da eventuali incentivi utilizzati, ecc..
Per le fasi principali del ciclo di vita riportate nella seguente Tabella 22, si è tenuto conto della terminologia prevista nel nuovo codice appalti [21]. Alcuni usi sono stati modificati/aggiunti rispetto a quelli individuati dalla Pennsylvania State University e sono stati considerati solo gli usi che potrebbero avere condivisione di informazioni con la DE.
Quanto finora detto sull'opportunità e la convenienza che l'analisi energetica sia effettuata all'atto della progettazione preliminare, è maggiormente valido nel caso di riqualificazione energetica di edifici esistenti: la diagnosi energetica, infatti, rappresenta l'attività fondamentale per indirizzare la progettazione verso scelte consapevoli, in quanto consente la conoscenza dell'edificio allo stato di fatto - che sta alla base di ogni tipo di intervento di riqualificazione - e l'individuazione della migliore configurazione degli interventi, attraverso valutazioni di fattibilità tecnica ed economica. Pertanto, a differenza di quanto previsto nello studio della PSU, nella Tabella 22 l'analisi/diagnosi energetica– viene collocata all'interno della fase di Progettazione di fattibilità tecnica ed economica.

Il modello energetico/analisi energetica a cui si fa riferimento nella Tabella 22, è il modello utilizzato per la diagnosi energetica opportunamente aggiornato alla luce degli interventi e delle modifiche effettuati sull'edificio: dunque più di un modello "as built" in quanto deriva da un modello validato con i consumi reali in sede di diagnosi energetica. In alcuni casi, la DE è resa obbligatoria dalla normativa italiana indipendentemente dalla realizzazione degli interventi -che può avvenire in seguito- ma in generale è un'attività propedeutica ad ogni intervento di riqualificazione o di miglioramento dell'efficienza degli edifici.

La declinazione del singolo Uso è disponibile sul sito della PSU [31].

Tabella 22: Scambi informativi della diagnosi energetica in tutte le fasi del processo edilizio

Fase del ciclo di vita	Usi del BIM	Scambi informativi della diagnosi energetica con gli altri Usi del BIM lungo il ciclo di vita
Progettazione di fattibilità tecnica ed economica	Rilievo dell'esistente (Capture Existing Conditions)	Nell'ambito della riqualificazione energetica degli edifici, la fase preliminare di analisi dell'esistente e di studio di fattibilità tecnica ed economica dell'intervento, coincide per molti aspetti con la Diagnosi Energetica. Le attività di rilievo dell'esistente sono fondamentali per la DE per l'acquisizione delle informazioni necessarie per la definizione dell'edificio relativamente all'involucro, agli impianti e ai profili di utilizzo dell'utenza (attività approfondite nella precedente annualità di ricerca [1]). Il rilievo – architettonico ed energetico- deve consentire di acquisire le informazioni per realizzare un modello BIM con un livello informativo "as built" (paragrafo 2.3) (pur se possibile che alcuni valori e dimensioni siano stimati) che possa fornire gli input necessari alla definizione geometrica dell'edificio e alla definizione delle caratteristiche termofisiche di sistema edificio impianto. Effettuare l'analisi energetica in questa fase consente di acquisire una conoscenza approfondita dell'edificio e delle sue prestazioni energetiche, oltre che di delineare possibili linee d'azione per la loro ottimizzazione (i.e. gli interventi migliorativi della diagnosi). Consente, inoltre, di tenere presente gli aspetti energetici durante l'uso analisi dei requisiti, volto all'ottimizzazione delle prestazioni della progettazione in relazione ai requisiti del cliente. Il modello energetico *ex ante* in questa fase consente di stimare le prestazioni energetiche dell'edificio allo stato di fatto; il modello energetico di progetto *ex post* consente di valutare aspetti come il fabbisogno annuo per il condizionamento ambientale, i carichi passivi di riscaldamento e raffreddamento, il predimensionamento degli eventuali nuovi impianti, ecc.. Nell'attività revisione del modello informativo del progetto, tutte le parti interessate, possono condividere e convalidare le scelte e le decisioni prese per quanto attiene tutti gli aspetti dell'edificio, energetici inclusi, nella prospettiva dell'intero ciclo di vita (progettazione, costruzione, gestione). L'uso del modello per la stima dei costi consente di supportare l'analisi della fattibilità tecnica ed economica degli interventi proposti grazie alle valutazioni accurate delle quantità, tipologie e caratteristiche dei componenti, anche relativamente agli interventi di riqualificazione energetica.
	Modellazione dell'esistente (Author Design)	
	Analisi/Diagnosi Energetica (Analyze Energy Performance)	
	Stima dei costi (Author Cost Estimate)	
	Stima dei tempi (modello 4D) (Author 4d Model)	
	Analisi dei requisiti del progetto (Analyze Program Requirements)	
	Revisione del modello di progetto (Review Design Model)	
Progettazione definitiva/ Esecutiva	Analisi illuminotecniche (Analyze Lighting Performance)	L'analisi energetica e la progettazione energetica sono strettamente connesse in un flusso bidirezionale di informazioni; in un processo BIM pienamente interoperabile, motori di simulazione energetica importano in maniera automatica e diretta dalla piattaforna BIM gli i dati disponibili (tra questi gli output del modello di analisi energetica) utili per le simulazioni energetiche e le progettazioni impiantistiche per determinare il dimensionamento e il posizionamento degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva; ma anche esportano i risultati delle analisi ingegneristiche verso modello di analisi energetica per la verifica dei requisiti HVAC e dei profili.
	Progettazioni ingegneristiche (illuminotecniche, meccaniche, ecc…) (Engineering Analysis)	

	Valutazione della sostenibilità ambientale (Sustainability Evaluation) Coordinamento dei modelli di progetto (Coordinate Design Models)	In generale, ma ancora di più per la riqualificazione di edifici ad elevate prestazioni energetiche, è fondamentale lo scambio delle informazioni nelle piattaforme collaborative BIM tra la simulazione energetica e la valutazione della sostenibilità ambientale, a partire dalle fasi iniziali della progettazione in modo da ottimizzare la valutazione dell'energia grigia durante tutte le fasi della vita di un edificio (dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento). La federazione dei modelli di progettazione mediante utilizzo del software di coordinamento 3D, consente il rilevamento automatico e la gestione dei conflitti e delle interferenze tra i modelli (*clash detection*). È possibile la verifica e validazione del progetto ovvero verificare la corrispondenza ai requisiti normativi e ai requisiti progettuali definiti nel CI, grazie alla definizione di regole di controllo e all'utilizzo di software specifici (*Model Checking*).
Costruzione	Modello logistico del cantiere (Author Construction Site Logistics Model) Modello dei sistemi di costruzione temporanei (Author Temporary Construction Systems Model) Realizzazione del prodotto (Fabricate Product) Layout lavori di costruzione (Layout Construction Work)	Durante la realizzazione degli interventi di riqualificazione energetica possono intervenire modifiche rispetto a quanto previsto nel progetto, che possono avere influenza sulla prestazione energetica dell'edificio (es. sostituzione di componenti o materiali…). Il modello di analisi energetica può essere utilizzato per verificare che le nuove prestazioni energetiche siano adeguate a quanto previsto a progetto/obiettivi del capitolato, aspetto ancora più rilevante in edifici ad elevate prestazioni energetiche (verso ZEB) nei quali i bassi consumi finali sono facilmente alterabili anche con differenze prestazionali contenute. In questo risulta fondamentale la possibilità di disporre di banche basate su standard aperti (es. bsDD) Il modello energetico può essere utilizzato, in fase di consegna dell'edificio, per l'ottimizzazione del sistema di monitoraggio e l'individuazione della posizione della sensoristica di campo.
Gestione e manutenzione	Archiviazione documentazione tecnica (modello di record) (Compile Record Model) Pianificazione della manutenzione (Monitor Maintenance) Monitoraggio delle prestazioni del sistema (Monitor System Performance)	Nella fase di gestione, il modello energetico (come sopra definito) può essere utilizzato per supportare la pianificazione dell'attività di manutenzione, per le verifiche di funzionamento di un edificio e per la verifica del raggiungimento e del mantenimento dei livelli prestazionali previsti in fase progettuale. Ma perché questo sia possibile, è necessario implementare un sistema di gestione organizzato e connesso in maniera dinamica e bidirezionale con un *modello di record* (AIM) che consenta la disponibilità di informazioni sul sistema edificio impianto e sulle condizioni ambientali circostanti, nello specifico, relative all'analisi energetica e alla progettazione MEP (uso *Gestione dell'Asset*). Per monitorarne lo stato e programmare le attività di manutenzione del sistema edificio-impianto è necessario un sistema informativo su piattaforma interoperabile nel quale confluiscano i parametri operativi del sistema edificio impianto e del suo utilizzo e i parametri metereologici, mediante BMS (Building Management System) o

	Gestione dell'Asset (Monitor Assets)	sistema IoT (Internet Of Things) (uso *Pianificazione della manutenzione*). L'utilizzo dei dati acquisiti da questo sistema di M&V (Measurement and Verification) in modelli analitici, nel nostro caso il modello energetico *validato* con i consumi reali, consentirà di modellare e valutare le prestazioni funzionali complessive del sistema edificio impianto (uso M*onitoraggio delle prestazioni del sistema edificio-impianto*). Dunque, durante la fase di gestione, il modello energetico, calibrato e validato opportunamente, può essere utilizzato per verificare l'effettivo raggiungimento, a seguito degli interventi di riqualificazione energetica, dei livelli prestazionali richiesti nonché il loro mantenimento per l'intero ciclo di vita. Questo a maggior ragione nel caso in cui ci sono situazioni particolari, ad esempio nel caso in cui si faccia ricorso ai contratti di prestazione energetica EPC (Energy Performance Contract)[34]. Infatti, in questa tipologia contrattuale il soggetto incaricato è tenuto a garantire il risparmio energetico minimo previsto a contratto (a progetto) e il suo mantenimento per l'intera durata contrattuale, ovviamente nel rispetto dei parametri micro climatici e di qualità dell'aria indoor (comfort indoor, IAQ o *Indoor air quality* e illuminazione naturale).
	Gestione degli spazi (Monitor Space)	
	Pianificazione e gestione delle emergenze (Analyze Emergency Management)	

6.2 Mappa processo informativo diagnosi energetiche in ambito BIM

Le mappe di processo sono definite al punto 5.4 delle UNI EN ISO 29481-1:2017 [41] e sono predisposte per descrivere il flusso delle attività e delle informazioni che interviene in uno specifico processo. Per ogni ruolo svolto dagli attori vengono schematizzate in sequenza logica all'interno di specifiche sezioni orizzontali ("piscine" o "corsie" descritte nel paragrafo 6.2.2), le attività dallo stesso svolte e viene definito il contenuto informativo e le modalità di scambio informativo tra i vari attori del processo. Si tratta, dunque, di un work-flow basato non sul tempo (come avviene, ad esempio, per un diagramma Gantt), ma basato sulle informazioni necessarie per la sua definizione, che sono fornite da uno o più processi.

La definizione della mappa di processo delle diagnosi energetiche illustrata nel successivo Paragrafo 6.2.5:

- Tiene in considerazione quanto già prodotto nella letteratura scientifica (Paragrafo 6.2.1);
- Segue la metodologia MVD/IDM (Capitolo 3) in particolare per quanto attiene il manuale di consegna delle informazioni e la rappresentazione *Business Process Modeling Notation* (BPMN) dalla stessa prevista (Paragrafo 6.2.2);
- Rappresenta l'implementazione in ambito BIM della "tradizionale" procedura standardizzata prevista nelle "Linee Guida per la diagnosi energetica degli edifici pubblici" [2] e nel Rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 [3]) sia per quanto attiene l'individuazione degli attori (Paragrafo 6.2.3), sia per quanto attiene il flusso di lavoro (Paragrafo 6.2.5).

[34] Il contratto EPC - Energy Performance Contract, è definito all'art. 2 del D.Lgs 102/2014 e s.m.i. e prevede che il fornitore della misura di miglioramento dell'efficienza energetica debba garantire il raggiungimento ed il mantenimento del risparmio energetico previsto a contratto e che la sua remunerazione avvenga in base al livello di prestazione raggiunta. Con la modifica introdotta dalla legge 120/2020 (legge semplificazioni), nel codice degli appalti (D.Lgs 50/2016), all'art. 180 si aggiunge, "Nel caso EPC… la misura di miglioramento dell'efficienza energetica, …deve essere verificata e monitorata durante l'intera durata del contratto, anche avvalendosi di apposite piattaforme informatiche adibite per la raccolta, l'organizzazione, la gestione, l'elaborazione, la valutazione e il monitoraggio dei consumi energetici…"

6.2.1 Esempi di mappe di processo per scambio informativo BIM to BEM

Per la definizione della mappa di processo delle diagnosi energetiche in ambiente BIM, si è tenuto in considerazione quanto emerso da precedenti lavori scientifici inerenti il tema dell'interoperabilità BIM to BEM. La review della letteratura scientifica effettuata ha evidenziato come ci si stia sempre più orientando a valutazioni degli scambi informativi estese all'intero ciclo di vita del bene costruito, a superamento di una iniziale analisi concentrata sullo studio del singolo caso d'uso, questo grazie anche allo sviluppo di versioni più complete dell'Industry Foundation Classes (IFC 4, IFC5) e alla progressiva, pur se lenta, implementazione da parte delle case software nei loro applicativi.
Si riscontra, inoltre, come siano stati affrontati molto gli aspetti relativi all'involucro e poco quelli relativi ai sistemi impiantistici, così come è evidente il maggiore focus sullo lo studio del processo di simulazione energetica relativamente alla progettazione di edifici nuovi piuttosto che alla riqualificazione energetica di edifici esistenti [20].

In questa direzione vanno i due esempi di mappe di processo per lo scambio d'informazioni tra BIM e BEM che di seguito si riportano. Sono stati selezionati perché ritenuti esemplificative di quanto finora prodotto relativamente all'utilizzo dell'approccio basato su Exchange Requirements, IDM e MVD per il superamento delle problematiche di non interoperabilità attualmente esistenti tra i modelli BIM e BEM.

La prima mappa di processo (Figura 37) è relativa al progetto IEA EBC Annex 60 dell'International Energy Agency, sezione Energy in Buildings and Communities, riportato nel lavoro [34]. Il progetto utilizza la metodologia IDM/MVD per predisporre un metodo standardizzato e semi-automatico per lo scambio di informazioni tra BIM e BEM, partendo dall'analisi di casi d'uso predefiniti per l'identificazione dei requisiti di scambio richiesti dagli strumenti BEM, per arrivare allo sviluppo di un MVD specifico che sia in grado di selezionare in maniera semi-automatica dalla totalità dei dati IFC del progetto, il sottoinsieme di dati IFC per l'input nel software di simulazione energetica, in modo da ridurre al minimo gli inserimenti manuali, considerando che, in genere, la piattaforma BIM contiene già più del 70% delle informazioni necessarie agli strumenti di simulazione energetica [35].

Il Processo di scambio di informazioni BIM to BEM vede tre attori principali: l'architetto, l'ingegnere HVAC e il modellatore BIM[35]. Il flusso di lavoro parte dall'architetto che predispone il modello BIM dal quale si esporta il file di dati IFC relativo al solo modello geometrico, che viene poi verificato con un programma di model checking (per la rimozione dei principali errori di modellazione) che verifica anche il confine dello spazio di 2° livello. È previsto l'utilizzo di Space Boundary Tool (SBT) nel caso in cui non sono definiti i confini dello spazio nel file IFC. L'ingegnere HVAC implementa le informazioni sui sistemi HVAC da questo modello geometrico ed esegue le verifiche di conformità con strumenti predisposti sulla base dei requisiti previsti nella MVD. Ad esito positivo viene generato il file IFC di input per il BEM, che viene verificato dall'esperto energetico e implementato ove mancante.

Il progetto si sofferma anche sulla necessità di coinvolgere, sin dalla fase iniziale della progettazione, tutti gli attori del progetto, in modo da definire chiaramente il quadro completo delle informazioni che il modello nativo deve contenere perché necessarie agli usi futuri previsti.

[35] La mappa di processo fa riferimento al BIM coordinator che ha la funzione di coordinare i flussi informativi a livello di commessa e di coordinare i modelli informativi delle varie discipline mediante il modello informativo federato o aggregato al fine di verificarne la coerenza e la congruità rispetto ai requisiti informativi del CI.
Un'altra figura è Il BIM Specialist ovvero lo specialista della gestione e della modellazione informativa ad oggetti delle singole discipline

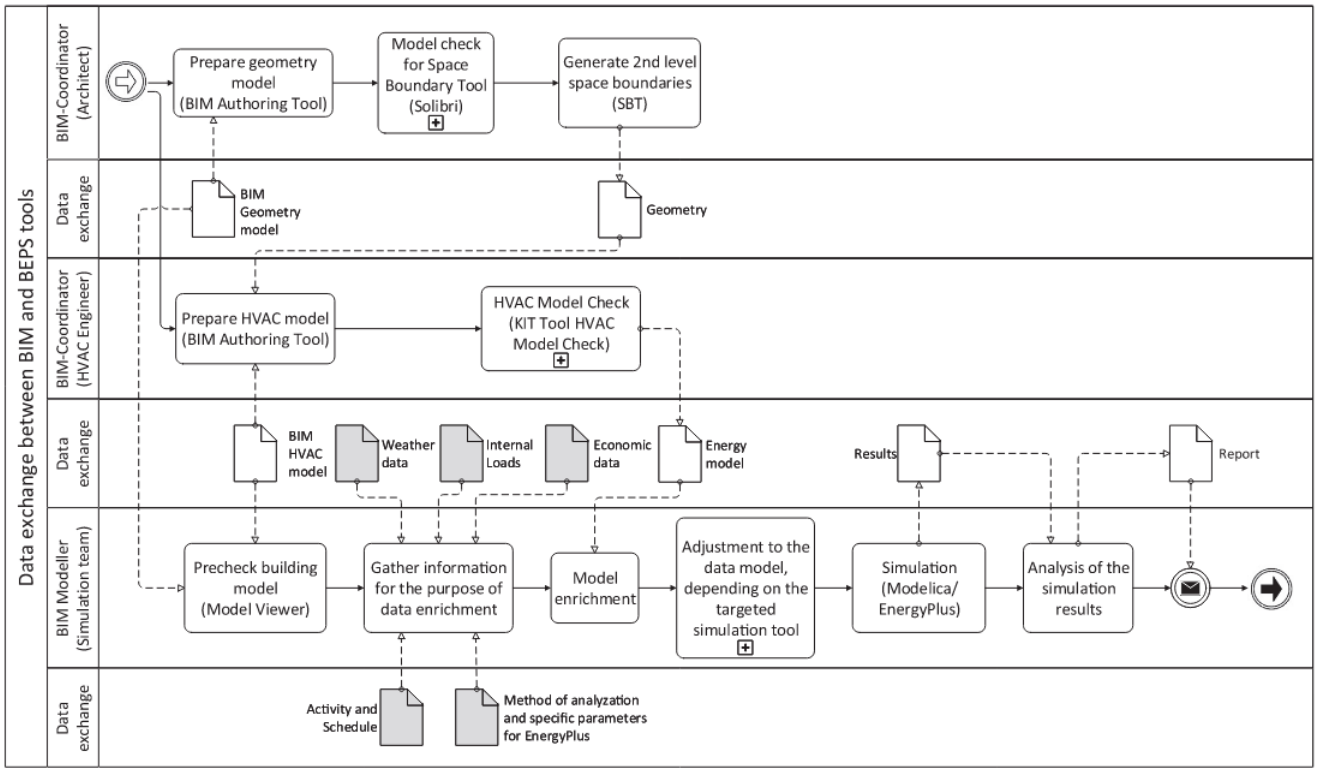


Figura 37: Mappa dei processi per lo scambio di informazioni tra motori BIM e BEM, Modelica e/o EnergyPlus [34]

La seconda mappa è tratta da un lavoro tesi [36], che affronta le tematiche della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica nella progettazione integrata su piattaforma BIM di edifici nuovi, evidenziando, anche qui, la necessità che entrambe vengano simultaneamente affrontate sin dalle prime fasi della progettazione, partendo dal presupposto che così dovrebbe essere per tutti gli attori coinvolti nella progettazione. Con l'obiettivo di ottimizzare e rendere più efficace lo scambio di informazioni dei due usi lungo l'intero ciclo di vita, lo studio si concentra sull'identificazione dei processi, degli attori e dei requisiti che definiscono lo scambio di informazioni tra gli strumenti scelti per la piattaforma BIM, per l'analisi energetica e per la sostenibilità ambientale.

Seguendo la metodologia IDM/MVD, viene proposto e sviluppato un manuale per la consegna delle informazioni fino alla definizione della mappa processo, in un processo integrato volto a migliorare la collaborazione e lo scambio di informazioni.

Il gruppo di lavoro parte dall'identificazione e dall'analisi del flusso di lavoro tradizionale 'as-is', per arrivare a definire il flusso delle informazioni all'interno del processo di progettazione integrata BIM che descrive nella mappa di processo riportata in Figura 38. Vengono illustrate tutte le attività del processo, rappresentati in sequenza logica i compiti svolti dai quattro principali attori coinvolti (proprietario dell'edificio, architetto, ingegnere HVAC e auditor per la certificazione della sostenibilità ambientale) e, soprattutto, definite le interazioni tra di loro.

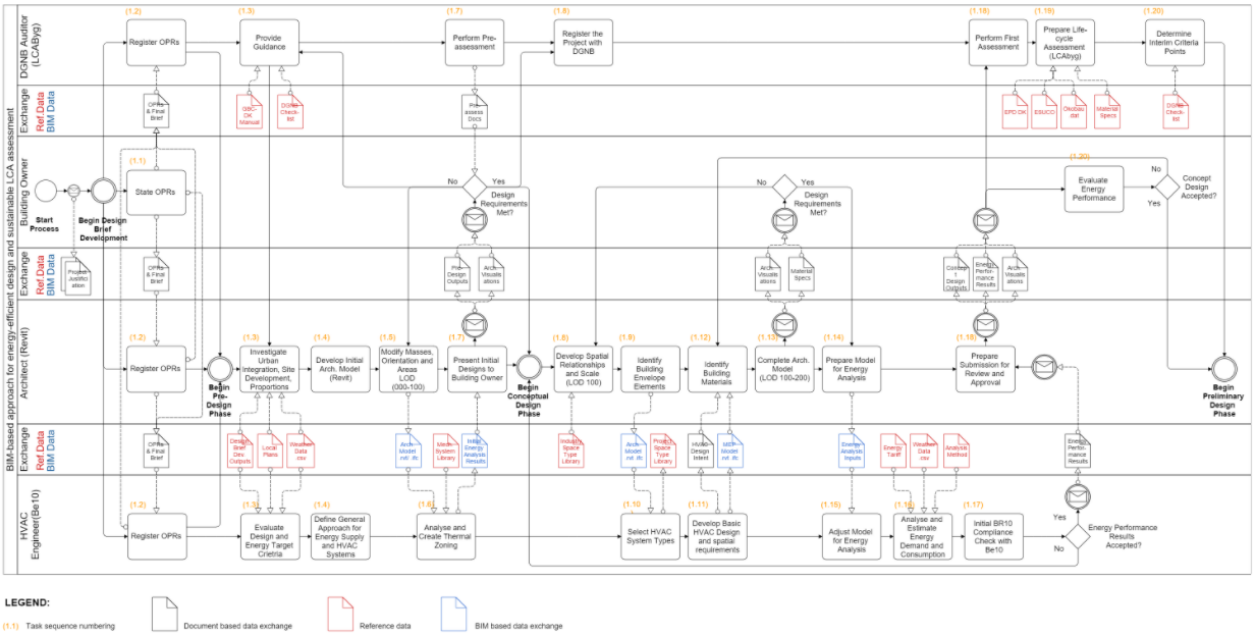


Figura 38: Mappa del processo di progettazione integrata [36]

Il lavoro non arriva alla definizione completa dell'IDM e si riferisce alla progettazione di edifici nuovi, ma si ritiene comunque interessante come esempio di applicazione della metodologia IDM/MVD. Rafforza, anche, l'importanza di un efficace collaborazione tra le parti coinvolte sin dalle prime fasi della progettazione integrata, per poter soddisfare in modo efficace ed efficiente i requisiti informativi definiti dal committente relativamente all'efficienza energetica e alla sostenibilità ambientale, tanto da concludere che: "*Non sono solo gli strumenti avanzati, che portano a migliori prestazioni energetiche e progettazione sostenibile, ma una comprensione fondamentale di come questi dovrebbero essere utilizzati da tutti gli attori in un processo di progettazione collaborativa e quali informazioni devono essere soddisfatte*" ([36] pag. 91).

6.2.2 Il Business Process Modeling Notation (BPMN) per la rappresentazione del modello processo

Per la rappresentazione del work-flow si è fatto riferimento alla Business Process Modeling Notation (BPMN), un approccio standard sviluppato dalla Business Process Management Initiative (BPMI), mantenuto, poi, dall'Object (OMG) ed infine ratificato come ISO/IEC 19510:2013 [32]. Ai fini del nostro lavoro si è fatto riferimento alla "Guida veloce" predisposta da BuildingSMART International perché tiene conto degli aspetti della notazione comunemente usati per lo sviluppo dell'Information Delivery Manual (IDM) [33].

La Notazione di modellazione dei processi aziendali (BPMN) è una notazione grafica per strutturare e visualizzare i processi: utilizzando diagrammi di flusso si descrivono – dall'inizio alla fine del processo – le fasi, i compiti, le responsabilità e, soprattutto, le informazioni scambiate.

Per completezza si riportano brevemente i concetti principali di questa notazione (rimandando, per approfondimenti, ai documenti sopra riportati).

L'elemento chiave del BPMN è il processo che viene rappresentato con una casella tipicamente con angoli arrotondati. Nella rappresentazione di un IDM, per convenzione, il nome del processo è una frase che inizia con un verbo ad indicare l'esecuzione di un'azione.
Un processo può essere "composto", quando è suddiviso in ulteriori sotto-processi i cui dettagli possono essere visibili o meno nel diagramma (in questo secondo caso il marcatore è un segno "più" nella parte inferiore della casella), oppure "atomico" quando identificato da un compito specifico non ulteriormente scomponibile.

Ogni processo può includere marcatori, ovvero specifici simboli posizionati nella parte inferiore della casella del processo, per definire i propri attributi.

Gli elementi principali che agiscono sul processo relativamente allo specifico scopo sono:

- gli attori che eseguono il processo, identificati da sezioni orizzontali chiamate "piscine" (*pool*) che contengono i compiti eseguiti in sequenza dal partecipante, oppure da ulteriori partizioni del pool, definite "corsie" (*lanes*), se è necessario classificare i processi all'interno del ruolo del partecipante;
- le connessioni, rappresentate con frecce che collegano i processi e ne descrivono la sequenza logica e i flussi d'informazioni. Sono principalmente di due tipi: flusso di sequenza, che indica l'ordine di esecuzione delle attività, e flusso di messaggi, che si utilizza per passare un messaggio o un insieme di informazioni tra un pool e l'altro;
- gli artefatti, hanno la funzione di fornire informazioni aggiuntive e sono utilizzati per elaborare processi esprimendo i dati forniti all'interno o tra i processi, o annotano i processi per fornire ulteriori descrizioni. Forniscono indicazioni su quali attività devono essere svolte e/o cosa producono.

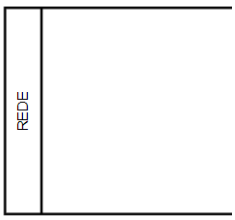
Ciò che accade durante il flusso del processo e lo influenza, definisce un evento. Viene rappresentato da un cerchio, con l'interno diverso a seconda se l'evento influenza il flusso all'inizio, o nella parte intermedia oppure alla fine.

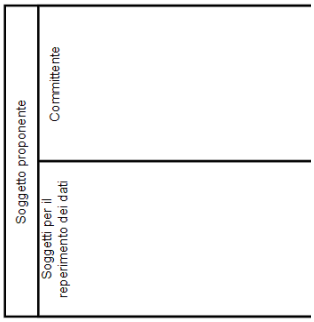
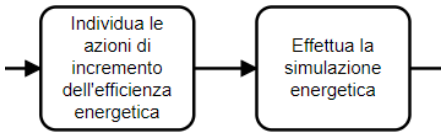
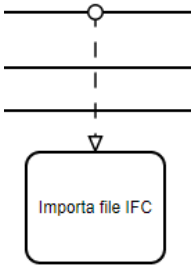
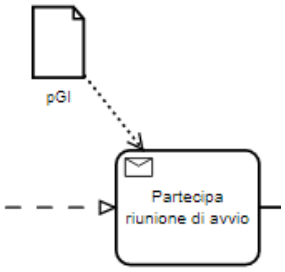
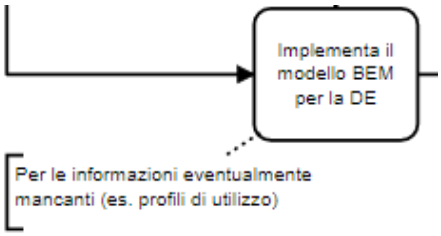
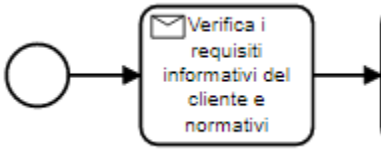
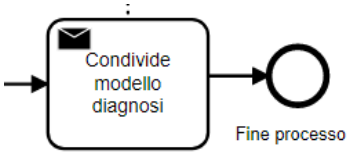
Per definire le modalità con cui gli eventi possono essere attivati si utilizzano i "Trigger". Le modalità di attivazione sono varie, ad esempio, nel caso di eventi finali possono definire un "risultato" conclusivo del flusso di sequenza.

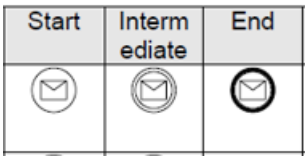
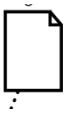
Per controllare la convergenza o la divergenza di sequenze di flusso si utilizzano i gateway e, con riferimento ad un diagramma di flusso convenzionale, identificano un momento decisionale.

Nella Tabella 23 si riporta la legenda dei simboli utilizzati nella definizione della mappa processo di diagnosi energetica rappresentata in Figura 41.

Tabella 23: Legenda dei simboli della notazione utilizzati nella mappa processo diagnosi energetica

Elementi principali	**Simboli**	**Rappresentazione**
Processi		Processo "atomico": rappresenta una attività non ulteriormente divisibile ed è l'unità di base della notazione BPMN.
		Processo "composto": indica che il processo è ulteriormente suddiviso in sotto-processi. Nel caso specifico il segno "più" rimanda al sotto-processo "Rilievo dell'esistente".
Partecipanti/ Attori		"Piscine" (pool): definito per ogni partecipante del processo e rappresenta graficamente ed in sequenza l'insieme dei processi dallo stesso eseguiti.

		"Corsie" (lanes): partizione all'interno di un pool utilizzata per classificare i processi all'interno del ruolo del partecipante, ad es. rappresentando sub-attori o dipartimenti di una organizzazione.
Connessioni		Flusso di sequenza.
		Flusso di messaggi.
Artefatti		Oggetto dati applicato ad una attività.
		Annotazione di un processo.
Eventi		Evento di inizio.
		Evento di fine.

Triggers		Messaggi: indica che l'evento inizia o si sviluppa con un messaggio.
Gateway		Decisione e fusione basate su dati esclusivi: indica che può essere scelta solo una delle alternativa.
		Decisione parallela e fusione: indica che tutti i percorsi siano possibili o che tutti i percorsi convergano per dare il risultato.
Data Modeling Consentono di specificare come vengono creati, aggiornati e cancellati i dati utilizzati nel processo		Data Object: rappresenta l'informazione utilizzata nel processo.
		Data Store: indica informazioni memorizzate nel sistema (es. record di un database), che vengono dal processo utilizzate e/o aggiornate.
		Data Association: lega i Data Object o Data Store a un'attività o a un evento e la direzione indica se si tratta di dati di input o di dati di output.

6.2.3 Attori del processo di diagnosi energetica

Il primo, fondamentale passo da compiere per la definizione di un processo BIM è l'individuazione dei suoi protagonisti o attori. Nella UNI EN ISO 29481-1:2017 [41] viene definito attore "*persona, organizzazione o unità organizzativa (come un dipartimento, un team, ecc.) coinvolta in un processo di costruzione*". In questo paragrafo si individuano gli attori interessati nell'esecuzione di una diagnosi energetica negli edifici. In Tabella 24, estratta dal paragrafo 6.1 delle linee guida [2], sono definiti i soggetti che possono essere coinvolti in una DE di un edificio effettuata non in ambito BIM, e il ruolo che possono svolgere nei vari momenti del processo.

Tabella 24: Soggetti coinvolti nella DE (Fonte: [2])

SOGGETTO	POSSIBILE DESTINATARIO DELLA DE	FORNITORE DI DATI[36]	COINVOLTO NEGLI INCONTRI	COIVOLTO NELLE ATTIVITÀ IN CAMPO
Proprietario dell'edificio o dell'appartamento	X	X	X	
Amministratore della proprietà	X	X	X	
Gestore degli impianti	X	X	X	X
Direttore dei servizi tecnici		X	X	X
Personale addetto ad esercizio e manutenzione		X	X	X
Personale della sicurezza		X	(X)	(X)
Occupante		X	X	
Personale (coloro che vi lavorano in modo permanente)		X	(X)	
Temporanei (pazienti, clienti di un negozio)		(X)		
Inquilini		X	X	

Partendo da questa tabella e dalla procedura di diagnosi energetica non BIM dettagliata nel paragrafo 6.2.4, oltreché tenendo presente gli aspetti fondamentali e le caratteristiche della mappa processo di un IDM, si riportano di seguito (Tabella 25) gli attori che possono essere coinvolti nel processo di diagnosi energetica in ambito BIM con l'individuazione delle fasi nelle quali svolgono un ruolo principale.

Tabella 25: Attori del processo di diagnosi energetica

SOGGETTO	INCONTRO DI AVVIO	ACQUISIZIONE DATI E INFORMAZIONI	MODELLAZIONE ENERGETICA	SIMULAZIONE ENERGETICA	VALIDAZIONE MODELLO	ANALISI COSTI BENEFICI	REPORT DI DIAGNOSI
Soggetto proponente / Committente	X	X					X
Soggetti per il reperimento dei dati		X					
Architetto (Modellatore BIM)	X	X	X				
REDE	X	X	X	X	X	X	X

Il Soggetto proponente definisce gli obiettivi (aziendali e di commessa) e i requisiti informativi che devono essere soddisfatti lungo l'intero ciclo di vita del cespite immobile. È il destinatario delle informazioni – concernenti i lavori, il cespite immobile o i servizi – che vengono prodotte dai soggetti incaricati principali in risposta alle sue richieste. Dunque assume funzioni più ampie del committente e del proprietario dell'immobile, pur se in alcuni momenti può con essi coincidere.

Il Committente è il responsabile dell'avvio di una commessa e dell'approvazione del meta-progetto o del documento di indirizzo preliminare.

I soggetti per il reperimento dei dati sono tutti i soggetti, indicati dal committente, ai quali il REDE può rivolgersi per acquisire i dati necessari per la diagnosi energetica relativamente alla proprietà e alle fasi di gestione, conduzione e manutenzione dell'edificio. Con riferimento alla precedente Tabella 24 sono: amministratore

[36] "Fornitore di dati" è qui inteso come i soggetti, individuati dal committente, per rendere disponibili al REDE tutti i dati e le informazioni necessarie per la DE relativamente alla proprietà e alle fasi di gestione, conduzione e manutenzione dell'edificio.

della proprietà, gestore degli impianti, direttore dei servizi tecnici, personale addetto ad esercizio e manutenzione, personale della sicurezza, occupanti, personale (coloro che vi lavorano in modo permanente), temporanei (pazienti, clienti di un negozio), inquilini.
L'Architetto (Progettista/modellatore BIM) realizza il modello BIM *as built* dell'edificio una volta acquisiti o rilevati i dati della campagna di rilievo e di indagine e secondo quanto previsto nel CI e nelle normative vigenti e sviluppa le prime idee progettuali sotto il profilo estetico e funzionale, tenendo presente i requisiti preliminari delle altre discipline (strutturali, energetici, sostenibili, ecc...) condivisi in sede di riunione iniziale e sapendo quali saranno gli usi futuri delle informazioni (es. progettazione HVAC per il progetto dei sistemi per la climatizzazione invernale ed estiva, valutazione sostenibilità ambientale, ecc...).

Il REferente della Diagnosi Energetica (REDE)[37] è il tecnico esperto responsabile della procedura di Diagnosi Energetica. Le competenze richieste per effettuare la DE investono vari aspetti della progettazione degli edifici e degli impianti ad essi asserviti, dunque può accadere che un unico tecnico non sia competente in tutti i campi richiesti. Per questo, è ammesso che il REDE possa essere non solo un singolo professionista (libero o associato), ma anche una società di servizi (pubblica o privata, incluse le società d'ingegneria) o un Ente Pubblico competente, oppure un team di lavoro.

6.2.4 Diagramma di flusso Diagnosi Energetiche Linee Guida e UNI/TR 11775:2020

In questo paragrafo si riporta l'analisi della "Procedura di diagnosi Energetica" di cui alla parte 7 delle Linee guida [2], di contenuto identico alla procedura della parte 6 del rapporto tecnico UNI/TR 11775. Essa si basa sulla procedura generale dalla norma UNI EN 16247-2 e prevede le fasi riportate nel diagramma di Figura 39.

Figura 39: Diagramma di flusso DE (Fonte: [2])

Per l'esecuzione di una diagnosi energetica è prioritaria la conoscenza dettagliata dell'esistente anche per quanto attiene le proprietà e le caratteristiche termo-fisiche dell'involucro e degli impianti, la definizione delle zone e dei locali termici e l'individuazione dei profili di utilizzo dell'edificio. La modellazione dell'edificio e la simulazione energetica seguono la fase fondamentale di rilievo e raccolta/acquisizione di tutte le informazioni necessarie per la realizzazione della DE.

Per la corretta conoscenza delle prestazioni energetiche dell'edificio allo stato di fatto, il modello energetico deve essere validato mediante confronto tra i consumi simulati sulla base dell'utilizzo reale dell'edificio e quelli misurati/contabilizzati nelle bollette. Il discostamento deve essere inferiore al 5%.

Queste linee guida saranno, nella prossima annualità di ricerca, integralmente riviste in ottica BIM, pertanto ogni singola fase della procedura che di seguito viene brevemente descritta per quanto necessario alla conoscenza del flusso di lavoro per la successiva predisposizione della mappa di processo di DE in ambito BIM (Paragrafo 6.2.5), verrà approfondita e implementata secondo il processo BIM nel proseguo.

Nelle Linee guida è esplicitato il work-flow dettagliato per le DE, come riportato nello schema a blocchi di Figura 40.

[37] REferente della Diagnosi Energetica può essere: Società di servizi energetici (SSE-ESCo), Esperti in Gestione Energia (EGE), Auditor Energetici (AE). Ruolo e competenze dell'auditor sono definite nella norma UNI CEI EN 16247-5.

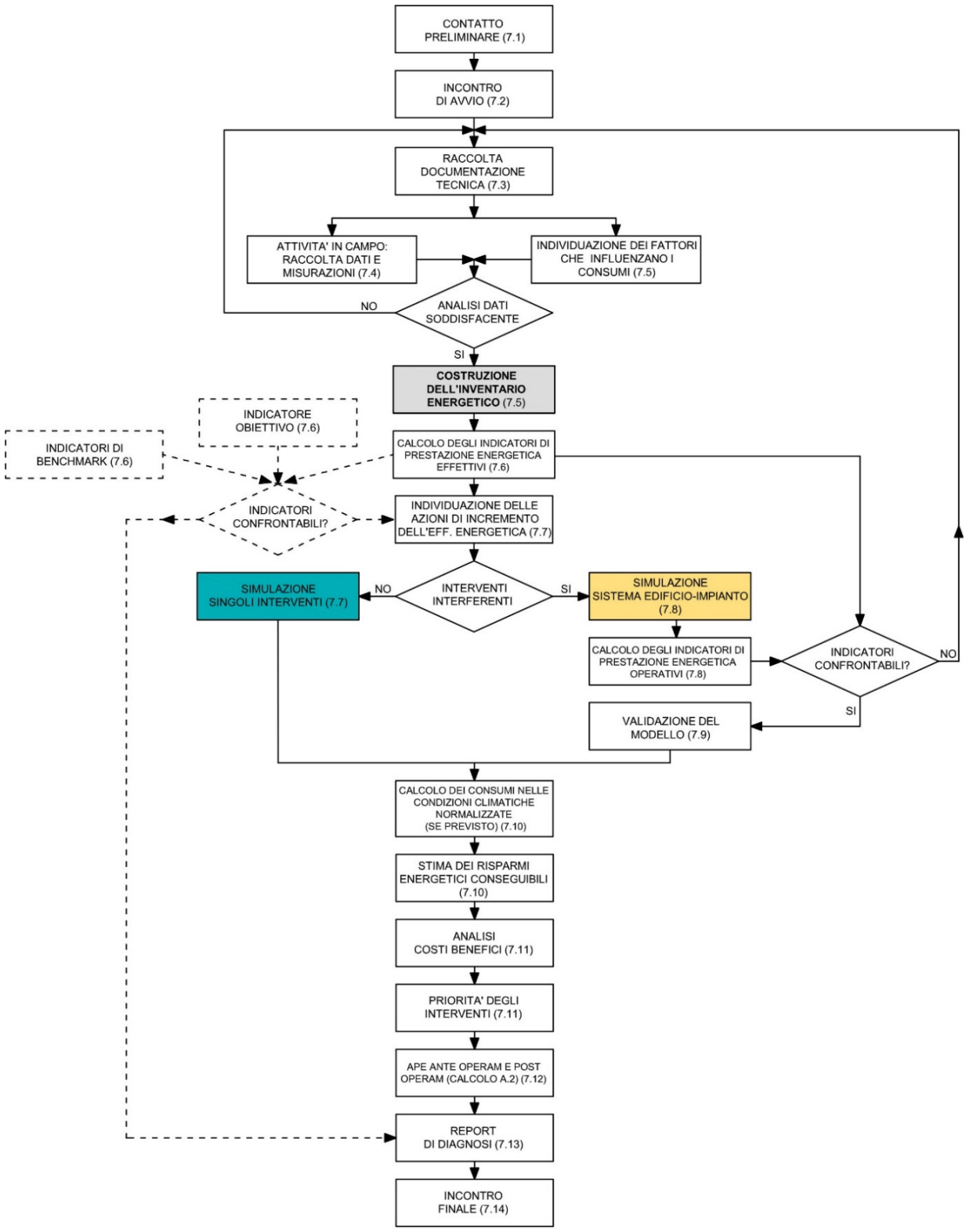


Figura 40: Schema a blocchi per le DE degli edifici (Fonte: [2])

Di seguito è dettagliata ogni fase della diagnosi energetica come prevista nelle Linee guida [2] e in corrispondenza di ogni fase, si riporta una prima analisi di come ciascuna di esse cambierebbe se integrata all'interno di un processo BIM, in quanto utile alla comprensione del flusso di lavoro e informativo della diagnosi energetica BIM riportata nel paragrafo 6.2.5.

Contatto Preliminare

Nella fase di contatto preliminare, REDE e committente definiscono i referenti e le modalità di reperimento dei dati necessari e i confini dell'attività di diagnosi, ovvero ambito di intervento, grado di accuratezza e finalità della DE, in base ai quali il REDE pianifica le attività di diagnosi in modo da rispondere puntualmente alle esigenze del committente. In questa può anche essere definito un indicatore di prestazione energetica obiettivo cui l'organizzazione vuole tendere (ad es. con riferimento al consumo specifico annuo o alle emissioni di CO_2).

In ambito BIM tutto questo è definito nei documenti previsti nella fase iniziale del processo di gestione informativa illustrato nella UNI EN ISO 19650 parte 1 (paragrafo 2.2.1): il committente definisce puntualmente nel CI (EIR) le proprie esigenze e i requisiti informativi richiesti agli affidatari necessari al raggiungimento dei propri obiettivi (aziendali e di commessa) e il REDE (soggetto incaricato) esplicita puntualmente nel pGI (ricordiamo documento allegato al contratto) il piano predisposto per rispondere alle richieste del Committente (paragrafo 2.2.2).

Incontro di avvio

Nell'incontro d'avvio avviene il coordinamento tra le parti interessate e la condivisione delle informazioni in merito a quanto stabilito nella fase di contatto preliminare. Il REDE concorda con l'organizzazione le tempistiche e le modalità per l'accesso ai luoghi, l'acquisizione dei dati e il coinvolgimento dei utenti dell'edificio.

Come meglio dettagliato nel successivo paragrafo 6.2.5, anche in ambito BIM viene svolta la riunione preliminare, ma esse assume rilevanza ancora maggiore in quanto volta al coordinamento di tutti i partecipanti al processo e alla reciproca informazione/formazione dei contenuti informativi e delle modalità di produzione e gestione delle informazioni (descritto nella Figura 3). Vi partecipano tutti i protagonisti coinvolti nel processo, sia da parte del committente, sia da parte dei soggetti incaricati, tra i quali, appunto, il REDE. Questo anche perché le attività che seguono di raccolta documentazione tecnica e attività in campo, sono da svolgere in collaborazione tra tutti gli attori interessati (architetto/modellatore, strutturista, progettista MEP, ecc.) a seconda degli usi del BIM previsti). Possono, ovviamente seguire incontri separati per le esigenze di esecuzione delle attività inerenti lo specifico uso del BIM.

Raccolta documentazione tecnica

In questa fase il REDE, secondo quanto definito nei punti precedenti, acquisisce le informazioni necessarie allo svolgimento della diagnosi relativamente a documentazione tecnica per la definizione del sistema edificio impianto e ogni altro dato di rilievo per gli aspetti energetici (parametri ambientali interni, profili di occupazione, manutenzioni/riqualificazioni eseguite). Relativamente ai vettori energetici reperisce dati relativi ai consumi all'energia prodotta ed esportata, all'elenco delle apparecchiature e ai fattori che influenzano i consumi energetici.

In un processo BIM con interoperabilità aperta, buona parte delle informazioni necessarie per realizzare il modello BEM, possono essere acquisite in maniera automatica dal modello BIM *as built* dell'edificio (creato con un software di *authoring* a partire da rilievi, dalla documentazione e dall'analisi dell'edificio), a seconda del livello di dettaglio del modello BIM stesso, stabilito nel pGI in risposta a quanto previsti dal committente nel CI. Vengono, poi, reperite dal REDE, misurate o ricavate, solo le informazioni mancanti necessarie per il completamento del modello energetico.

L'attività in campo

Nell'attività in campo il REDE svolge sopralluoghi per verificare la rispondenza dei dati ricevuti e per reperire quelli mancanti attraverso rilievi ed interviste agli occupanti, ovvero misure in campo con apposita strumentazione (ad esempio, termocamera, termoflussimetro, ecc…) per i dati non disponibili nella documentazione fornita (ad esempio, trasmittanze elementi). Le linee guida forniscono, poi, la check-list dei

dati da acquisire e le accortezze che il REDE dovrebbe seguire relativamente ad edifici scolastici (Allegato 1 Linee guida) e ad edifici a destinazione uffici (Allegato 2 Linee guida).

Per diagnosi in metodologia BIM, vale per questa fase quanto riportato al punto precedente.

Analisi dei consumi reali e costruzione dell'inventario energetico

Per definire il consumo di riferimento da utilizzare come baseline per la valutazione degli interventi migliorativi, in questa fase del processo, si effettua l'analisi dei dati di consumo reale raccolti per ogni vettore energetico (da letture o da bollette) e la costruzione dell'inventario energetico che descrive analiticamente i consumi per ogni vettore energetico. Nelle linee guida sono descritte le attività che il REDE deve svolgere per la costituzione dell'inventario, come calcolare i dati di consumo anche con riferimento ai fattori che ne potrebbero alterare l'andamento e alla ripartizione secondo i servizi energetici presenti. Si danno, inoltre, indicazioni sulla possibilità di acquisire i dati tramite misure o, in alternativa, da stime o calcoli (in assenza di un sistema di monitoraggio) e sulla quantizzazione della spesa complessiva per l'approvvigionamento energetico e il conseguente calcolo del costo unitario per vettore (€/kWh_e e €/Sm^3). In alcune circostanze, dunque, l'assenza della documentazione necessaria può portare alla necessità di realizzare un modello energetico dell'edificio reale già in questa fase, per permettere il calcolo di alcuni dei parametri richiesti per l'analisi dei consumi dell'edificio reale, a completamento dell'inventario energetico. Tale modello sarà poi utilizzato come base per l'analisi degli interventi migliorativi e per tutte le fasi successive della diagnosi.

In futuro, quando il processo edilizio BIM potrà dirsi pienamente interoperabile, i dati sui consumi (come altri dati, ad esempio quelli relativi alle manutenzioni ordinarie e straordinarie) potrebbero essere acquisiti grazie a un BMS (Building Management System) o un sistema IoT (Internet of Things) in grado di trasmettere i dati del monitoraggio dei parametri ambientali e impiantistici direttamente alla piattaforma BIM che diventa così un sistema informativo capace di rielaborare e rendere disponibili i dati stessi. Per quanto riguarda la realizzazione del modello BEM, vale quanto già detto nei punti precedenti.

Indicatori di prestazione energetica

Se non predisposto per l'inventario energetico, si realizza il modello energetico e si calcolano gli **indicatori di prestazione energetica**[38] che sono espressi come consumo di riferimento per unità di superficie o volume (kWh/m^2, kWh/m^3, Smc/m^2, ecc…). Se previsto in fase di contatto preliminare, si confrontano tra loro gli indicatori effettivi con gli indicatori obiettivo e/o con gli indicatori di benchmark, e, nel caso in cui l'indicatore effettivo fosse già congruente con l'indicatore obiettivo si può decidere se proseguire o meno con l'individuazione degli interventi di efficienza energetica. In caso si decida di non proseguire si passa direttamente alla redazione del report e alla conclusione della DE.

In ambito BIM ogni requisito informativo è definito dal committente nel CI (EIR) secondo il processo di gestione informativa illustrato nella UNI EN ISO 19650 parte 1 (Paragrafo 2.2.1) a partire dai bisogni e dagli obiettivi aziendali e di commessa del soggetto proponente.

Individuazione delle azioni di incremento dell'efficienza energetica

La conoscenza delle caratteristiche termiche dei componenti del sistema edificio impianto consente, in questa fase, di identificare i possibili interventi migliorativi della prestazione energetica dell'edificio. Le linee guida ne

[38] **Gli indicatori di prestazione energetica** si distinguono in:
- Indicatori di prestazione energetica effettivi (**EnPIef**) che rappresentano il valore quantitativo dell'indice di prestazione energetica ricavato da misure effettive.
- Indicatori di prestazione energetica operativi (**EnPIop**) che rappresentano l'indicatore di prestazione energetica dell'EnPI ricavato teoricamente dal modello energetico.
- Indicatori di prestazione energetica obiettivo (**EnPIob**) rappresentano il valore quantitativo dell'EnPI a cui l'organizzazione ritiene di poter tendere per valutare il comportamento dell'edificio.
- Indicatori di benchmarck (**EnBck**) sono parametri di riferimento rappresentativi del consumo medio di settore definito dalla destinazione d'uso e dalla tipologia edilizia dell'edificio in esame.

riportano un elenco esemplificativo, evidenziando la necessità che si effettui una simulazione del sistema edificio impianto (con realizzazione del modello energetico se non predisposto per l'inventario) nel caso in cui la riduzione del fabbisogno energetico generato da una misura, abbia influenza sul fabbisogno energetico di un'altra. Simulazioni separate di ogni singolo intervento non consentirebbero di valutare l'effetto dell'interferenza energetica reciproca.

Nel processo di analisi energetica integrata in un processo BIM, si è prevista la realizzazione del modello si realizza prima di questa fase, ovvero nella fase di definizione dell'inventario energetico, questo perché l'attività è sicuramente (sarà sicuramente) più agevole e veloce e porta a modelli energetici con maggiore grado di accuratezza. Non si prevede la possibilità -data invece nelle linee guida-, di non realizzazione del modello nel caso in cui non ci siano lavori non interferenti considerando, anche, che il modello interessa, comunque, l'intero ciclo di vita dell'edificio e sarà valutato da altri Usi del modello.

Simulazione del sistema edificio-impianto

Come detto al precedente punto, per la valutazione del risparmio energetico conseguibile nel caso di interventi di miglioramento interferenti, il modello energetico dovrà simulare l'intero sistema edificio-impianto e dovrà essere quanto più possibile rispondente all'edificio reale. Per il calcolo della prestazione energetica si fa riferimento alla UNI EN ISO 52016-1:2018 che prevede per il REDE la possibilità di utilizzare due metodi di calcolo, in base allo scopo della diagnosi, alle caratteristiche dell'edificio e alla qualità dei dati in ingresso: quasi-stazionario o dinamico orario[39].

Qualsiasi sia il metodo utilizzato, i passi da seguire per la costruzione del modello energetico sono:

- *Inserimento dati climatici*. Per redigere gli attestati di prestazione energetica e per le diagnosi nella fase di normalizzazione dei consumi (necessarie per l'analisi degli interventi migliorativi), occorre considerare dati climatici convenzionali della specifica località, forniti per il territorio nazionale dalla UNI 10349-1:2016. Per la validazione del modello del sistema edificio-impianto devono, invece, essere inseriti i dati climatici reali (es. temperature esterne, irradianze, ecc.) misurati nella specifica località negli anni considerati nel calcolo del consumo di riferimento.
- *Definizione dei confini del fabbricato e delle zone termiche*. Quello della zonizzazione termica è un punto fondamentale per la costruzione del modello energetico e, come visto al Paragrafo 5, è anche uno dei principali nodi da risolvere per la completa condivisione automatica delle informazioni tra modelli BIM e modelli BEM.

  Per definire i confini del fabbricato devono essere identificati tutti gli elementi della superficie disperdente dell'edificio, ovvero l'insieme degli elementi che separano l'ambiente climatizzato dall'ambiente esterno (aria, terreno) o da ambienti non climatizzati.

  Per definire le zone termiche occorre identificare la parte dell'ambiente climatizzato che si trova alla stessa temperatura (ed eventualmente umidità) ed è servita dallo stesso impianto di climatizzazione. Il calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento va calcolato con riferimento a ciascuna zona termica.
- *Definizione dei servizi energetici presenti e degli impianti,* da indicare per ogni zona termica.

[39] Nel metodo **quasi stazionario** i calcoli sono semplificati su base mensile e, in Italia, si basano sulle norme tecniche UNI/TS 11300-1. Questo metodo può essere utilizzato per il calcolo del fabbisogno per la climatizzazione invernale, mentre è poco attendibile per il calcolo del fabbisogno della climatizzazione estiva non potendo considerare la variazioni della temperatura e dell'irraggiamento solare nell'arco della giornata.
Nel **metodo dinamico orario** il calcolo si basa su intervalli elementari relativi alla singola ora, permettendo di tenere conto dei reali parametri nell'arco della giornata relativamente alle condizioni al contorno (temperatura esterna, irraggiamento…) e ai profili d'uso (orario di funzionamento dell'impianto, variabilità delle condizioni di occupazione, …).

- *Risultati della simulazione.* Con la simulazione vengono calcolati per ogni zona termica i fabbisogni di energia per ogni specifico servizio energetico presente: climatizzazione invernale, ventilazione, acqua calda sanitaria, climatizzazione estiva, illuminazione, trasporto di persone o cose.

Dalla simulazione si determina un indicatore di prestazione energetica operativo (EnPIop) per ogni vettore energetico e servizio energetico che, confrontato con quelli effettivi, consentirà di verificare l'attendibilità del modello creato (validazione del modello).

Per quanto riguarda questa fase nell'ottica BIM, vale quanto già espresso nei punti precedenti con riferimento al processo di gestione informativa, alla possibilità di acquisizione automatica delle informazioni dalla piattaforma BIM (ferme restando le problematiche ancora da risolvere di cui si è ampiamente discusso al paragrafo 5.2), all'acquisizione dei dati climatici reali da sensori e misuratori integrati con tecnologia IoT, per arrivare al vantaggio di una simulazione che può basarsi su modelli energetici più accurati a partire dalle fasi iniziali della progettazione di un intervento di riqualificazione. Tutto questo, ed altro, sarà approfondito ed esplicitato all'atto della stesura delle linee guida per diagnosi nel proseguo dell'attività di ricerca.

Validazione della simulazione del sistema edificio-impianto

Per ottenere simulazioni degli interventi abbastanza realistiche, prima di poter essere utilizzato per la definizione degli interventi di riqualificazione energetica, il modello energetico realizzato deve essere validato, ovvero occorre verificare che lo scostamento tra i consumi operativi Co (ricavati a partire dalla simulazione del modello) e i consumi effettivi Ce (reali, misurati o da bollette) sia al massimo del +/- 5%. In formula:

$$-0{,}05 \leq \frac{Co - Ce}{Ce} \leq 0{,}05$$

Si tenga presente che per la simulazione devono considerarsi le condizioni termoigrometriche reali e gli effettivi profili di utilizzo.

Lo scostamento massimo, definito anche "margine d'incertezza", deve essere definito in fase di contatto preliminare in base ai dati disponibili e al livello di approfondimento richiesto e può anche raddoppiare nel caso in cui non si disponga di dati certi.

In ambito BIM il margine d'incertezza è un requisito informativo che deve essere definito dal committente nel CI (EIR) e discende dagli obiettivi di commessa espressi secondo il processo di gestione informativa illustrato nella UNI EN ISO 19650 parte 1 (paragrafo 2.2.1). Potrebbe anche accadere che, grazie alla maggiore disponibilità e attendibilità dei dati del processo integrato BIM il committente possa richiedere all'incaricato, un minore grado di incertezza per la validazione del modello.

Valutazione dei risparmi energetici conseguibili

In questa fase si procede al calcolo dei risparmi energetici. Nel caso gli interventi proposti non siano interferenti, il risparmio totale può essere calcolato come somma dei risparmi dei singoli interventi. Nel caso di interventi interferenti il risparmio energetico totale deve essere calcolato mediante il modello energetico dell'intero sistema fabbricato-impianto validato nella fase precedente, simulando gli interventi in contemporanea, previa analisi separata per ogni singolo intervento per effettuare una prima valutazione e scegliere le soluzioni possibili da raggruppare poi in vari scenari.

La simulazione, sia *ante operam* sia *post operam*, può essere effettuata utilizzando dati climatici standard secondo la norma UNI 10349-1:2016 in modo da determinare il risparmio energetico come differenza tra il consumo normalizzato *ante operam* e il consumo normalizzato *post operam*.

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

Tuttavia il REDE, se ritiene opportuno per il caso specifico avere stime più rispondenti alla realtà, può decidere di fare riferimento ai dati climatici reali, purché lo definisca in fase di contrattualizzazione dell'attività. In ambito BIM questa scelte vengono esplicitate nell'oGI e dettagliate nel pGI.

Analisi costi benefici

Gli interventi individuati devono essere valutati (singolarmente e raggruppati nei vari scenari) dal punto di vista economico per individuare la migliore soluzione sotto il profilo costi/benefici e per escludere (salvo situazioni particolari che ne richiedano comunque la realizzazione) gli interventi che abbiano tempo di ritorno superiore alla sua vita utile.

Si rimanda alle linee guida per approfondimenti sul possibile sistema di valutazione finanziario con il quale classificare gli interventi di risparmio (in ordine di complessità e di livello di informazione reso: valutazione del costo del ciclo di vita, tasso interno di redditività, valore attuale netto, tempo di ritorno semplice o pay back). Importante, per ora, è evidenziare che il REDE dovrebbe concordare con il committente il sistema di valutazione finanziario più opportuno per l'edificio considerato.

In ambito BIM, il committente definisce nel CI i requisiti informativi anche relativamente agli aspetti della valutazione finanziaria degli interventi. Sarà poi il soggetto incaricato a descrivere puntualmente nel piano di Gestione Informativa (pGI) come intende rispondere alle richieste del committente. Inoltre, l'acquisizione automatica dei dati necessari dalla piattaforma BIM, facilita una valutazione più accurata e riferita ad un numero più ampio di possibili scenari di interventi.

Redazione dell'attestato di prestazione energetica

La Certificazione Energetica basa il calcolo delle prestazioni energetiche su parametri convenzionali, rappresentativi delle condizioni di clima ed utenza standard (A2-edificio reale in condizioni standard, prospetto 2 della UNI/TS 11300-1:2014) e tiene in considerazione le sole caratteristiche costruttive dell'edificio, valutandone il consumo energetico potenziale. Ha la finalità ultima della confrontabilità secondo una scala di classificazione comune.

Nella diagnosi energetica il calcolo utilizza dati quanto più possibile rappresentativi delle condizioni reali dell'edificio (A3-edificio reale in condizioni reali, prospetto 2 della UNI/TS 11300-1:2014) e tiene in considerazione i consumi effettivi, le apparecchiature installate, i profili di utenza e le condizioni climatiche. Ha la finalità ultima di valutare gli interventi migliorativi secondo un insieme di criteri economici, energetici ed ambientali a partire dalle condizioni reali di utilizzo dell'edificio.

Il REDE dovrà effettuare l'APE ante operam (valutazione A2) e l'APE post operam (valutazione A1-sul progetto in condizioni standard).

Nelle linee guida (e nel rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020) si raccomanda di tenere in considerazione anche gli interventi proposti in DE che non permettano un miglioramento della classe energetica dell'edificio ma hanno comunque una importante rilevanza in termini di risparmio energetico e di convenienza (es. Building Automation and Control Systems) e di indirizzare il committente nella scelta degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica anche sulla base dei benefici, non energetici e non facilmente monetizzabili, da essi derivanti (ad esempio: comfort acustico, comfort termoigrometrico, aumento del valore dell'immobile, immagine dell'organizzazione, riduzione delle emissioni climalteranti, riduzione degli infortuni e dei disagi derivanti da maggiore manutenzione, ecc…).

Queste ultime raccomandazioni sono ancora più valide in una diagnosi energetica nel processo BIM e nella possibilità che il soggetto incaricato espliciti nel pGI come intende rispondere ai requisiti informativi espressi dal committente nel capitolato e alle strategie aziendali e agli obiettivi di alto livello espressi dal committente nei documenti OIR, AIR, PIR (paragrafo 2.2.1).

Il rapporto

Il report è un documento di testo che contiene la sintesi dell'attività di diagnosi. Nella maggior parte dei casi, per agevolare la comprensione del profilo energetico dell'edificio, questo è accompagnato da documentazione tecnica di vario tipo (grafica, fotografica, testuale, ecc…) che è compito del REDE predisporre e rendere

disponibile al committente. Nell'allegato 2 delle linee guida è disponibile un format con l'intento di fornire una traccia da seguire e personalizzare per il caso specifico.

Nel processo BIM, il REDE, oltre al report, consegna al committente il modello energetico validato dello stato di fatto e il modello energetico validato dello stato di progetto: tutte le informazioni sono in essi contenute e/o ad essi collegate (elaborati cartacei, certificazioni, schede tecniche, ecc.) e la loro condivisione nella piattaforma BIM (considerando una futura, completa interoperabilità) le rende disponibili per i successivi usi del BIM per l'intera vita dell'edificio.

L'incontro finale

L'incontro finale conclude la procedura di diagnosi energetica. Il REDE consegna il rapporto, espone i risultati e identifica i fattori la cui variazione richiede l'aggiornamento della diagnosi energetica.

Nel processo di gestione delle informazioni BIM, questa fase rappresenta uno dei momenti salienti della produzione dei modelli e degli elaborati (Figura 3) ed è definito al punto 5.7 "Consegna del modello informativo" della UNI EN ISO 19650-2 che descrive le fasi di consegna tra soggetto incaricato - soggetto incaricato principale e committente e le azioni di revisione e autorizzazione del modello.
Il processo si conclude con la chiusura della commessa (punto 5.8 "Chiusura della commessa" della UNI EN ISO 19650-2) che descrive le attività che il soggetto proponente deve compiere una volta accettato il modello informativo per archiviare i contenitori informativi nell'AcDAT.

Si ribadisce che gli aspetti legati al processo BIM delle diagnosi energetiche, verranno sviluppati puntualmente durante la prossima annualità di ricerca che prevede l'implementazione secondo la metodologia BIM delle linee guida per le diagnosi illustrate in questo paragrafo

6.2.5 Mappa processo diagnosi energetica BIM: flusso di lavoro e flusso delle informazioni

Uno degli obiettivi che ci si è prefissi con questo lavoro è la rappresentazione del flusso di lavoro della diagnosi energetica, con la specifica delle interazioni tra gli attori e la definizione degli scambi informativi tra gli stessi. Il risultato finale è la mappa processo diagnosi rappresentata in Figura 41. Per declinare il processo in ottica BIM, tenendo ben presente quanto previsto dalla serie delle UNI EN ISO 19650, si è partiti dallo studio dalla procedura come attualmente prevista nelle linee guida [2] e nel rapporto tecnico UNI/TR 11775:2020 (Paragrafo 6.2.4) e, attraverso la notazione BPMN (Paragrafo 6.2.2) prevista per l'implementazione dell'IDM, per ogni attore individuato (Paragrafo 6.2.3: soggetto proponente, architetto e REDE) sono stati riportati, in sequenza, all'interno delle rispettive "piscine", le attività dagli stessi svolte. Sono state, inoltre, individuate le relazioni tra gli attori e il flusso delle informazioni che caratterizza lo specifico processo di progettazione integrata BIM.

Il primo pool partendo dall'alto, rappresenta l'ambiente di condivisione dati (acDAT/CDE) e vi sono esplicitati gli scambi informativi dell'intero processo ovvero i dati di input e di output.

La mappa si riferisce alla fase di progettazione fattibilità tecnica ed economica e considera il caso più generico in cui nella commessa sia prevista la realizzazione contestuale del modello BIM. Nel caso in cui il modello architettonico BIM dell'edificio fosse già esistente, l'attività iniziale partirebbe dall'aggiornamento del modello da parte dell'architetto/modellatore BIM, ovvero direttamente l'aggiornamento del modello energetico da parte del REDE.

Si descrive, di seguito, il processo DE di Figura 41, concentrandosi sugli aspetti generali e sulle principali differenze con la procedura "tradizionale" di cui al Paragrafo 6.2.4, in quanto lo sviluppo puntuale del flusso di lavoro e delle informazioni sarà affrontato nel proseguo dell'attività di ricerca, quando saranno elaborate le linee guida delle diagnosi energetiche in ambito BIM.

Per tutti gli scambi informativi tra committente e soggetti incaricati, si è fatto riferimento al "processo di gestione delle informazioni durante la fase di consegna dei cespiti immobili" (Figura 5) disciplinato dalla UNI EN ISO 19650-2:2019 [24].

Il processo inizia con l'attivazione dell'incarico da parte del committente (punto 5.4 "Processo di gestione delle informazioni – incarico" della [24]) che ha lo scopo di confermare e condividere il piano di gestione informativa dei gruppi di fornitura e di svolgere tutte le azioni necessarie per dare l'avvio agli incarichi. Sostituisce l'incontro di avvio della procedura tradizionale (paragrafo 6.2.4) con un processo standardizzato e ben definito che fa sì che tutti i protagonisti coinvolti siano perfettamente a conoscenza degli obiettivi e dei requisiti informativi chiesti dal committente, delle necessità informative di ogni soggetto incaricato e delle modalità di produzione e condivisione delle informazioni. Per quanto attiene il processo di DE questo dovrebbe consentire la predisposizione di un modello BIM "as built" che contenga le informazioni necessarie agli altri usi del BIM e che siano chiaramente definite per il REDE le richieste e le scelte del committente e i parametri a cui attenersi.

Le successive attività di raccolta delle informazioni e di rilievo sono eseguite sia dall'architetto sia dal REDE, ognuno per la parte di proprio competenza.
Pur se il work-flow dell'architetto, che porta alla realizzazione del modello BIM dell'esistente, ai fini di questo lavoro poteva essere schematizzato solo con il suo output finale, ovvero con il file IFC esportato (secondo la MVD specifica), si è ritenuto utile esplicitarlo almeno nei processi principali, proprio per sottolineare la stretta connessione esistente tra i due flussi.

Il REDE, una volta importato il file IFC nell'applicativo di analisi e simulazione energetica, prima di implementare il modello con i dati mancanti strettamente connessi con gli aspetti energetici, esegue la verifica del modello per accertarsi della correttezza della modellazione e scrittura degli oggetti BIM e provvede alla correzione degli errori e delle incongruenze per quanto di sua competenza e alla attivazione della procedura standardizzata per la comunicazione e gestione dei problemi riscontrati che interessano altri protagonisti (una modalità può essere attraverso lo standard BCF-BIM Collaboration Format).

Si noti che, in questo work-flow BIM, al fine sfruttare appieno i vantaggi e le potenzialità offerte dalla condivisione digitale delle informazioni, si prevede che il modello energetico sia realizzato prima dell'inventario energetico, come accade nel processo tradizionale quando la documentazione necessaria è insufficiente per effettuare l'inventario stesso. Così come è prevista prima la validazione del modello energetico, ovvero la verifica che la discordanza tra i consumi reali e quelli calcolati sia inferiore al 5%.

Dopo l'inventario energetico, il flusso di lavoro segue la sequenza di attività della procedura prevista nelle linee guida (Figura 40).

Gli scambi informativi con il soggetto proponente – stabiliti dettagliatamente nel pGI del soggetto incaricato di effettuare la DE- rappresentano dei punti molto importanti del processo di gestione e produzione delle informazioni BIM (rappresentato in Figura 3) e sono disciplinati nella UNI EN ISO 19650-2. In particolare si fa riferimento alla "Consegna del modello informativo" (punto 5.7 della UNI EN ISO 19650-2) che descrive le fasi di consegna tra soggetto incaricato e soggetto proponente le azioni di revisione e autorizzazione del modello da parte del committente e, a seguire, alla "Chiusura della commessa" (punto 5.8 della UNI EN ISO 19650-2), che descrive le attività che il soggetto proponente deve compiere una volta accettato il modello informativo per archiviare i contenitori informativi nell'AcDAT e chiudere il processo.
Le consegne dei modelli informativi da parte del REDE previste in Figura 41 sono 2, una per il modello energetico validato dello stato di fatto e l'altra, finale, per il modello energetico dello stato di progetto: tutte le informazioni sono in essi contenute e/o ad essi collegate (elaborati cartacei, certificazioni, schede tecniche, ecc.). Nella consegna finale si prevede la trasmissione anche della firma energetica, degli APE pre e post e del report di diagnosi.
La condivisione di queste informazioni nell'ambiente di condivisione dati (considerando raggiunta l'interoperabilità piena) rende le informazioni disponibili per gli usi successivi per l'intera vita dell'edificio (in riposta alle richieste informative espresse dal committente nel CI). Affinché il modello energetico possa essere utilizzato nelle fasi successive della vita dell'edificio, esso deve essere aggiornato ogni volta che intervengono modifiche/interventi nell'edificio reale.

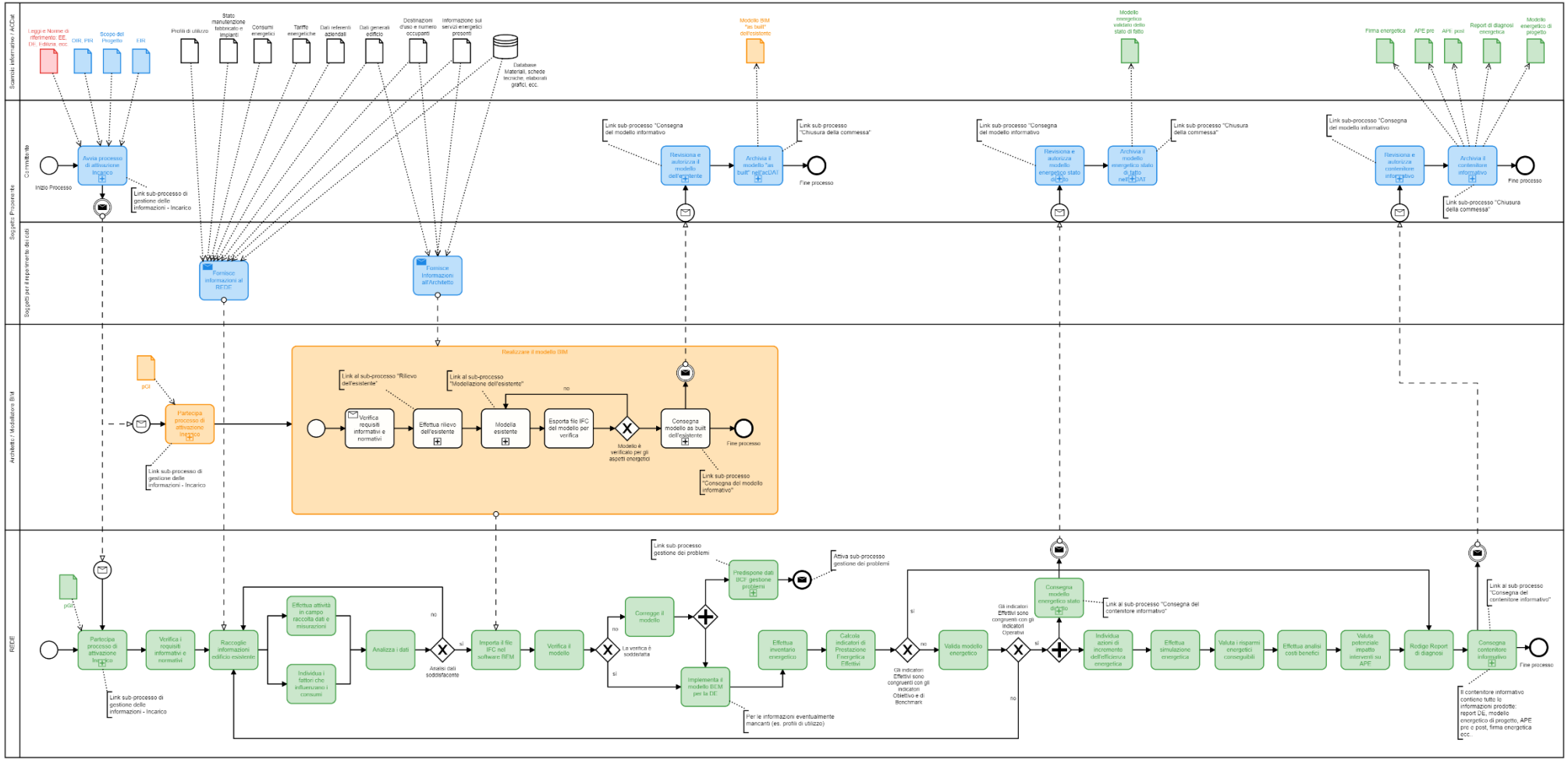


Figura 41: Mappa processo diagnosi energetica BIM – flusso di lavoro e flusso delle informazioni

6.3 Individuazione parametri minimi per diagnosi energetiche

Nel processo di gestione e produzione delle informazioni è fondamentale l'individuazione dei requisiti di scambio ovvero l'identificazione dei requisiti informativi che devono essere scambiati per il particolare processo aziendale o nelle interazioni tra i diversi usi del BIM.

Il punto di partenza per la definizione dei requisiti di scambio è la conoscenza dei parametri che sono necessari per svolgere quel determinato processo. Dunque, per la definizione dei requisiti di scambio necessari per l'implementazione di un IDM specifica per la diagnosi energetica, è propedeutico identificare i parametri che sono necessari per svolgere l'attività di diagnosi.

Proprio questo è il fine che ci si è prefissi in questo paragrafo. Nella Tabella 26 sono elencati i parametri che sono richiesti per effettuare una diagnosi energetica. Per la loro definizione si è fatto riferimento a quanto emerso dall'esperienza della modellazione, analisi e simulazione effettuata sul caso studio selezionato ai fini di questo lavoro, nonché a quanto appreso dalla revisione della letteratura scientifica disponibile, a quanto previsto dalle normative applicabili relativamente all'efficienza energetica e a quanto richiesto nelle schede di rilievo riportate in allegato alle linee guida [2] (Allegato 1 per edifici scolastici e Allegato 2 per gli uffici per gli uffici) per agevolare la raccolta da parte del REDE delle informazioni necessarie per l'esecuzione delle DE.

Si precisa che la puntuale definizione delle schede di raccolta dati per la realizzazione di diagnosi energetiche in ambiente BIM, sarà oggetto nel proseguo dell'attività di ricerca all'atto dell'implementazione delle linee guida per DE in ambiente BIM.

Inoltre, come esposto nel paragrafo 6.2, è necessario conoscere e rendere disponibili con interoperabilità aperta sia i dati di input dell'analisi energetica, sia i suoi dati di output che devono essere condivisi nella piattaforma open BIM per essere disponibili per tutti gli usi futuri del BIM nell'intero ciclo di vita. Per questo, anche tenendo conto delle considerazioni[40] sui livelli di fabbisogno informativo espresse nel paragrafo 2.3, nella Tabella 26, si sono scelti tre usi del BIM tra quelli individuati nel paragrafo 6.1 (oltre a Diagnosi energetica – DE):

- MOdellazione dell'Esistente (MO);
- Progettazione Energetica (PE);
- Pianificazione della Manutenzione (PM)

rappresentativi rispettivamente delle fasi: progettazione di fattibilità tecnica ed economica, progettazione definitiva/esecutiva e gestione/manutenzione e, per ogni parametro, sono stati individuati gli usi nel quale lo stesso potrebbe essere scambiato. È utile precisare che l'esercizio è a solo scopo esemplificativo, non essendo oggetto di questo lavoro l'esatta determinazione dei parametri necessari ai suddetti usi.

Questa tabella fornisce una lista dei contenuti minimi che il file IFC di una diagnosi energetica dovrebbe contenere e definisce le informazioni che possono intervenire in uno scambio informativo nelle le fasi principali del work-flow di una DE. Essa può rappresentare una guida sia per i committenti, per la definizione dei requisiti informativi da richiedere nel Capitolato Informativo per le DE, sia per i tecnici responsabili delle modellazioni BIM e BEM, per la definizione delle informazioni (di tipo geometrico ed energetico) che i rispettivi modelli devono contenere. Può anche essere utilizzata come check-list dalle case software ai fini dell'individuazione delle informazioni da includere nel file IFC dei propri applicativi quando utilizzati nel processo di DE; ma, soprattutto, rappresenta uno degli elementi necessari per l'implementazione di un IDM specifico per il processo informativo della diagnosi energetica, primo passo per la definizione di una MVD specifica per l'estrapolazione automatica dall'intero schema dati contenuto nella piattaforma open BIM, delle informazioni necessarie per diagnosi energetiche.

I parametri della tabella sono organizzati secondo delle macrocategorie, che definiscono gli ambiti generali in cui questi si inseriscono. Si tratta di una convenzione che permette di rendere più agevole il lavoro di

[40] Vista la non completa definizione normativa del livello di fabbisogno informativo, non si è potuto andare oltre le considerazioni.

definizione dei requisiti di scambio. Per ciascun parametro potranno poi essere individuate le corrispondenti entità o proprietà all'interno del formato IFC, prendendo a modello le guide fornite da buildingSMART [11] già utilizzate come riferimento all'interno di questo lavoro. Sulla base della conoscenza acquisita sul formato IFC, si sono individuati gli elementi a cui i parametri individuati possono essere assegnati (colonna "Assegnabile a" della Tabella 26) e, per completezza, ove necessario, si è assegnata a ciascuno la rispettiva unità di misura.

Tabella 26: Elenco dei parametri minimi per lo scambio informativo nel processo di diagnosi energetica

MO	DE	PE	PM	CATEGORIA PRINCIPALE	PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE	ASSEGNABILE A	UNITÀ
				INFORMAZIONI GLOBALI			
X	X	X		**Sito**	Stato	Progetto/edificio	
X	X	X			Regione	Progetto/edificio	
X	X	X			Comune	Progetto/edificio	
	X	X			Latitudine	Progetto/edificio	
	X	X			Longitudine	Progetto/edificio	
		X			Altitudine	Progetto/edificio	
X	X	X			Angolo del complesso edilizio rispetto al nord di progetto	Progetto/edificio	
	X	X		**Dati mensili standard**	Temperature medie mensili	Progetto/edificio	°C
	X	X			Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale (PO)	Progetto/edificio	MJ/m^2
	X	X			Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale	Progetto/edificio	MJ/m^2
	X	X	X	**Dati mensili tailored**	Temperature medie mensili	Progetto/edificio	°C
	X	X	X		Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale	Progetto/edificio	MJ/m^2
	X	X	X		Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale	Progetto/edificio	MJ/m^2
	X	X	X	**Dati climatici standard**	Zona Climatica	Progetto/edificio	
	X	X	X		Temperatura esterna di progetto invernale	Progetto/edificio	°C
	X	X	X		Gradi Giorno	Progetto/edificio	
	X	X	X		Durata convenzionale periodo di riscaldamento	Progetto/edificio	
	X	X	X		Temperatura esterna massima estiva	Progetto/edificio	°C
	X	X	X		Escursione termica giornaliera	Progetto/edificio	°C
	X	X	X		Pressione esterna	Progetto/edificio	Pa
				GEOMETRIA EDIFICIO			
X	X	X	X		Superficie utile	Progetto/edificio	m^2
X	X	X	X		Superficie involucro	Progetto/edificio	m^2
X	X	X	X		Volume lordo riscaldato	Progetto/edificio	m^3
X	X	X	X		Volume netto riscaldato	Progetto/edificio	m^3
	X	X			Rapporto S/V	Progetto/edificio	
X	X	X			Ombreggiamenti esterni		
				INVOLUCRO EDILIZIO			
X	X	X	X	**Componenti**	Spessore	Strato/materiale	m
X	X	X	X		Conducibilità termica	Strato/materiale	W/mK
	X	X	X		Resistenza termica (ricavata)	Strato/materiale	m^2K/W
	X	X			Densità	Strato/materiale	g/m^3

MO	DE	PE	PM	CATEGORIA PRINCIPALE	PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE	ASSEGNABILE A	UNITÀ
				INVOLUCRO EDILIZIO			
X	**X**	**X**	**X**	**Componenti**	Spessore	Strato/materiale	m
X	**X**	**X**	**X**		Conducibilità termica	Strato/materiale	W/mK
	X	**X**	**X**		Resistenza termica (ricavata)	Strato/materiale	m^2K/W
	X	**X**			Densità	Strato/materiale	g/m^3
	X	**X**			Calore specifico	Strato/materiale	J/gK
	X	**X**			Permeabilità al vapor d'acqua	Strato/materiale	kg/ms
	X	**X**			Fattore di resistenza al vapore 0%-50%	Strato/materiale	
	X	**X**			Fattore di resistenza al vapore 50%-95%	Strato/materiale	
	X	**X**	**X**		Modulo di Young	Strato/materiale	Pa
				INVOLUCRO EDILIZIO			
X	**X**	**X**	**X**	**Elemento**	Spessore	Elemento/parete	m
	X	**X**			verso esterno / locale a t fissa / locale non riscaldato	Elemento/parete	-
	X	**X**			Adduttanza interna	Elemento/parete	W/m^2K
	X	**X**			Adduttanza esterna	Elemento/parete	W/m^2K
X	**X**	**X**	**X**		Trasmittanza termica	Elemento/parete	W/m^2K
	X	**X**	**X**		Trasmittanza termica periodica	Elemento/parete	W/m^2K
	X	**X**	**X**		Capacità termica interna	Elemento/parete	kJ/m^2K
	X	**X**	**X**		Capacità termica esterna	Elemento/parete	kJ/m^2K
X	**X**	**X**	**X**	**Materiali trasparenti**	Geometria (dimensioni telaio e vetro)	Infisso	m
X	**X**	**X**	**X**		Area vetrata	Infisso	% / m^2
	X	**X**	**X**		Tipo di vetro	Vetro	
	X	**X**	**X**		Emissività	Vetro	
	X	**X**	**X**		Trasmissione visibile	Vetro	
	X	**X**	**X**		Trasmittanza vetro	Vetro	
X	**X**	**X**	**X**		Materiale telaio	Telaio	
X	**X**	**X**	**X**		Spessore telaio	Telaio	mm
X	**X**	**X**	**X**		Trasmittanza telaio	Telaio	W/m^2K
X	**X**	**X**	**X**		Schermature mobili e fisse	-	
X	**X**	**X**	**X**		Sottofinestra	-	
X	**X**	**X**	**X**		Cassonetti	-	
	X	**X**	**X**		Ponti termici	-	
	X	**X**	**X**		Trasmittanza termica U	Complessivo/ricavato	W/m^2K
	X	**X**	**X**		Coefficiente di apporto di calore solare (g-value)	Complessivo/ricavato	-
	X	**X**	**X**		Trasmissione nel visibile	Complessivo/ricavato	-
	X	**X**		**Ponti termici**	Categoria di ponte termico		
	X	**X**			Ambiente posto a un lato del ponte termico		
	X	**X**			Ambiente posto all'altro lato del ponte termico		
	X	**X**			Coefficiente lineico		

MO	DE	PE	PM	CATEGORIA PRINCIPALE	PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE	ASSEGNABILE A	UNITÀ
				SPACES			
X	X	X	X	**Unità immobiliare**	Nome		
X	X	X	X		Geometria		
	X	X			Superficie utile		m^2
	X	X			Superficie lorda		m^2
	X	X			Volume lordo		m^3
	X	X			Volume netto		m^3
X	X	X	X	**Zone termiche**	Nome	Zona	
X	X	X	X		Geometria (visibile-selezionabile nel modello)	Zona	
X	X	X	X		Unità immobiliare di appartenenza	Zona	
	X	X			Superficie utile	Zona	m^2
	X	X			Superficie lorda	Zona	m^2
	X	X			Volume lordo	Zona	m^3
	X	X			Volume netto	Zona	m^3
X	X	X	X	**Locali termici**	Nome	Locale	
X	X	X	X		Geometria (visibile-selezionabile nel modello)	Locale	
X	X	X			Riscaldato / Confinante non riscaldato / Confinante riscaldato	Locale	
X	X	X	X		Piano/Livello di appartenenza	Locale	
	X	X	X		Zona di appartenenza	Locale	
	X	X	X		Superficie utile	Locale	m^2
	X	X	X		Superficie lorda	Locale	m^2
	X	X	X		Altezza netta	Locale	m
	X	X	X		Temperatura	Locale	
	X	X	X		Umidità relativa	Locale	
	X	X			Ventilazione naturale	Locale	
	X	X	X		Portate ventilazione naturale	Locale	
	X	X	X		Portate ventilazione meccanica	Locale	
X	X	X	X		Impianti (potenze, terminali, distribuzione)		
	X	X	X		Schedule di occupazione		
	X	X			Apporti interni		
X	X	X	X	**Riscaldamento**	Tipo impianto	Zona	
X	X	X	X		Tipo generatore	Zona	
X	X	X	X		Vettore energetico	Zona	
X	X	X	X		Generatore	Impianto	
X	X	X	X		Tipo terminali	Zona/ locale	
X	X	X	X		Potenza installata	Zona/ locale	kW
	X	X	X		η generazione		
	X	X	X		η distribuzione		
	X	X	X		η emissione		
	X	X	X		η regolazione		
	X	X	X		Schedule di funzionamento	Zona/locale/impianto	
X	X	X	X	**Climatizzazione**	Tipo impianto	Zona	
X	X	X	X		Tipo generatore	Zona	
MO	DE	PE	PM	CATEGORIA PRINCIPALE	PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE	ASSEGNABILE A	UNITÀ

				SPACES			
X	**X**	**X**	**X**		Vettore energetico	Zona	
X	**X**	**X**	**X**		Generatore	Impianto	
X	**X**	**X**	**X**		Tipo terminali	Zona/ locale	
X	**X**	**X**	**X**		Potenza installata	Zona/ locale	kW
	X	**X**	**X**		η generazione		
	X	**X**	**X**		η distribuzione		
	X	**X**	**X**		η emissione		
	X	**X**	**X**		η regolazione		
	X	**X**	**X**		Schedule di funzionamento	Zona/locale/impianto	
X	**X**	**X**	**X**	**Impianto ACS**	Tipo impianto	Zona	
X	**X**	**X**	**X**		Tipo generatore	Zona	
X	**X**	**X**	**X**		Vettore energetico	Zona	
X	**X**	**X**	**X**		Generatore	Impianto	
X	**X**	**X**	**X**		Potenza installata	Zona/ locale	kW
	X	**X**	**X**		η generazione		
	X	**X**	**X**		η distribuzione		
X	**X**	**X**	**X**	**Impianto illuminazione**	Tipologia		
X	**X**	**X**	**X**		Potenza installata		KW o kW/m^2
X	**X**	**X**	**X**		Consumo		kWh o kWh/m^2
X	**X**	**X**	**X**		Tipo di controllo		
				Impianto trasporto	- da definire -		
				Impianto ventilazione	- da definire -		
				Rinnovabili	- da definire -		
				INVENTARIO ENERGETICO			
	X			**Vettore i-esimo**	Vettore		
	X				Costo kWh		EUR/kWh
	X				Consumo Anno 1		kWh
	X				Spesa Anno 1		EUR
	X				Consumo Anno 2		kWh
	X				Spesa Anno 2		EUR
	X				Consumo Anno 3		kWh
	X				Spesa Anno 3		EUR
	X		**X**		Consumo di riferimento		kWh
	X		**X**		Spesa di riferimento		EUR
	X		**X**		Quota Riscaldamento		%
	X		**X**		Quota Climatizzazione estiva		%
	X		**X**		Quota ACS		%
	X		**X**		Quota Illuminazione		%
	X		**X**		Quota Ventilazione		%
	X		**X**		Quota Trasporto		%
	X		**X**		Altro		%
MO	**DE**	**PE**	**PM**	**CATEGORIA PRINCIPALE**	**PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE**	**ASSEGNABILE A**	**UNITÀ**

				RISULTATI EDIFICIO			
	X	**X**		**Involucro**	Carichi termici	Edificio/zona	
	X	**X**			Coefficienti di scambio termico	Edificio/zona	
	X	**X**	**X**	**Riscaldamento**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**Climatizzazione**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**ACS**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**Ventilazione**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**Illuminazione**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**Scale e ascensori**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Rendimento medio globale stagionale	Edificio	-
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**	**Globale**	Indice di prestazione termica utile	Edificio	kWh/m²a
	X	**X**	**X**		Fabbisogno di energia	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria totale	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria non rinnovabile	Edificio	kWh/a
	X	**X**	**X**		Energia primaria rinnovabile	Edificio	kWh/a
MO	**DE**	**PE**	**PM**	**CATEGORIA PRINCIPALE**	**PARAMETRI: DEFINIZIONE / SPIEGAZIONE**	**ASSEGNABILE A**	**UNITÀ**

				RISULTATI EDIFICIO			
	X	**X**	**X**		TEP	Edificio	TEP/a
	X	**X**	**X**		CO2	Edificio	tCO_2/a

A una prima analisi si è osservato come, per alcuni dei parametri indicati in Tabella 26, esistano delle corrispondenze esatte all'interno dello standard IFC: per molti dei parametri individuati, però, sarebbe necessaria l'introduzione di Property Set (Pset) personalizzati. Ad esempio, per quanto concerne i dati climatici, sia standard che tailored (definiti ai sensi della normativa italiana e, i secondi, specifici per la localizzazione dell'edificio e il periodo in esame) non esistono dei parametri corrispondenti all'interno dello standard IFC. Sarà dunque necessaria la creazione di Pset ad hoc ossia di set di proprietà nuove (da associare, in questo caso specifico, all'oggetto Edificio). I set di proprietà sono identificati da una stringa con l'attributo "Nome", che deve essere del tipo Pset_NOME [42] [43] (nel caso di specie, ad esempio, si potrebbe definire un "Pset_DatiClimatici").

Dopo l'individuazione dei parametri minimi per l'implementazione di una diagnosi, un possibile prosieguo dell'attività di ricerca, nella direzione dell'interoperabilità delle Diagnosi Energetiche in ambiente BIM, potrebbe prevedere l'individuazione delle corrispondenze di tali parametri all'interno dello standard IFC secondo le indicazioni del comitato buildingSMART e, ove non siano individuate corrispondenze, la definizione di una "nomenclatura" comune per tutti i set di proprietà non standard che si rendano eventualmente necessari.

7 Indicazioni per l'interoperabilità Open BIM per diagnosi energetiche

L'attività di ricerca svolta, basata sullo studio dei risultati ottenuti sul tema dell'interoperabilità BIM to BEM di precedenti studi scientifici disponibili in letterature, ma soprattutto basata sull'esperienza delle sperimentazioni eseguite sul caso studio, ha consentito di fare il punto sullo stato dell'interoperabilità attuale tra i software BIM e i software BEM e di approfondire le problematiche e le carenze ancora esistenti, sulle quali si forniscono di seguito indicazioni e proposte volte al loro superamento.

L'obiettivo del lavoro è stato l'implementazione dell'analisi energetica nel processo BIM, certamente nell'ottica dell'interoperabilità open BIM basata su standard internazionale aperti, ma anche nell'ottica del miglioramento della limitata interoperabilità attualmente esistente tra i software allo scopo favorire l'applicazione della metodologia BIM anche in questa fase di transizione. Seguendo questo duplice filone, di seguito vengono sintetizzate/esplicitate le indicazioni che si ritiene possano contribuire all'efficacia e all'efficienza degli scambi informativi del processo BIM to BEM:

- Regole per la modellazione. Le analisi eseguite sul caso studio hanno evidenziato carenze e problematiche legate alla modellazione che sono state dettagliate e per le quali sono state fornite delle possibili soluzioni (Capitolo 5). La qualità della modellazione è fondamentale per la corretta importazione delle informazioni per gli usi successivi. Gli errori di modellazione contenuti in un file IFC esportato da un software di authoring, difficilmente possono essere corretti nell'applicativo di destinazione e comportando, così, perdita di tempo e denaro (oltreché di qualità del progetto). Allo scopo potrebbe essere utile che gli sviluppatori di software fornissero all'utente finale delle linee guida che contengano indicazioni/raccomandazioni per la modellazione degli edifici volte al miglioramento della qualità di realizzazione dei modelli.

Di seguito, alcune indicazioni per l'implementazione del processo BIM to BEM nell'ottica dell'interoperabilità open BIM definite secondo la metodologia IDM/MVD che si è scelto di seguire ai fini di questo lavoro e che ha portato ad approfondire il processo di gestione informativa basato su standard internazionali aperti legati allo schema dati IFC:

- Necessità d'implementazione di Property Set (Pset) definiti secondo lo standard IFC. La predisposizione dell'elenco dei parametri minimi per una DE (Tabella 26) ha evidenziato, ad una prima analisi, che alcuni parametri non hanno una corrispondenza all'interno dello schema IFC. Questo porta gli sviluppatori di software a definire Property Set (Pset) personalizzati che, non facendo riferimento allo standard aperto IFC, non vanno nella direzione dell'interoperabilità aperta. La definizione secondo lo standard IFC di Property Set specifici per rappresentare tutti i parametri necessari alla realizzazione della DE, favorirebbe il processo open BIM per le diagnosi stesse.

- Sviluppo banche dati di oggetti con i relativi attributi, basate su standard aperti e internazionali (quali ad esempio bsDD che si riferisce alla norma EN ISO 12006-3:2016) nelle quali i produttori e i fornitori possano rendere disponibili all'utente finale i propri prodotti.

  Per il completo sfruttamento dei vantaggi e dei benefici propri del processo edilizio secondo la metodologia BIM, è necessario che il modello federato nella piattaforma BIM (PIM-modello informativo della commessa nella fase di progettazione e realizzazione e AIM-modello informativo del cespite immobile nella fase di gestione (Figura 3)) sia aggiornato in maniera dinamica delle variazioni dell'edificio reale (digital twin). Attualmente questo non è possibile. Una banca dati aperta e standardizzata, consentirebbe a tutti gli attori della filiera di condividere e scambiare informazioni sui prodotti reali. Permetterebbe, l'aggiornamento dinamico del modello digitale dell'edificio e l'accrescimento del livello informativo fino ad arrivare ad avere che l'oggetto BIM è il gemello digitale dell'oggetto reale fornito dal produttore.
  Il produttore avrebbe la possibilità di inserire, all'interno di queste banche dati in cloud, i gemelli digitali dei propri prodotti completi di tutte le informazioni sia per quanto concerne gli aspetti generici (geometria, i materiali, ecc.) sia per quanto concerne le proprietà ad essi associate (es. le proprietà energetico-ambientali). Aggiornando i software alla connessione con un link a questi servizi in cloud si consentirebbe ai progettisti di arricchire le informazioni degli oggetti del modello semplicemente collegando mediante link l'oggetto del modello all'oggetto digitale del database.

- Definizione di MVD e IDM specifiche per analisi energetica.

  La MVD consente la condivisione tra modelli di tutte e sole le informazioni necessarie per lo specifico uso, così come definito dagli IDM. Più in particolare, può essere che una MVD discenda da un singolo IDM se è utilizzato per filtrare le informazioni negli strumenti software di uno specifico requisito di scambio. Se, con l'aggiunta di vincoli di informazioni, la MVD viene utilizzata per la convalida dei dati, l'MVD fa riferimento a diversi IDM. Quindi la MVD consente sia la predisposizione automatica di file IFC completi di tutte le informazioni necessarie per il modello energetico sia di verificare in maniera automatizzata la completezza e correttezza dei dati.
  Dallo studio dello scorso anno [1] è emerso che, ad oggi, le definizioni MVD ufficiali sono in numero limitato rispetto alle necessità per l'interoperabilità piena del BIM nel settore delle costruzioni e in particolare non esiste una definizione MVD ufficiale specifica per l'analisi/progettazione energetica. Dunque risulta necessario lo sviluppo di modelli di vista (MVD) specifici per l'analisi energetica. La nuova MVD dovrebbe risolvere le problematiche attualmente esistenti con l'attale versione Design Transfer della IFC4, ovvero a titolo esemplificativo risolvere le problematiche legate alla corretta definizione del confine degli spazi di primo e secondo livello), all'inserimento dei sistemi HVAC, delle proprietà termiche, dei profili di utilizzo, ecc.

  Seguendo la metodologia IDM/MVD scelta, primo passo da fare è l'implementazione di un Information Delivery Manual (IDM). Tra gli elementi di cui si compone l'IDM, con questo lavoro si è dato un contributo nella definizione della mappa di processo (Paragrafo 6.2) e dei parametri minimi (Paragrafo 6.3). Le ulteriori attività di ricerca dovrebbero portare a definire:

  - Mappa d'interazione e mappa di Transazione
  - Il Modello dei requisiti di scambio (Exchange Requirements Models - ERM) per collegare le informazioni da scambiare a concetti della MVD

- Guida BIM generica indirizzata all'utente finale dettaglia gli oggetti e i dati che il modello BIM deve contenere per essere scambiati con altri modelli.

➢ Implementazione dei software

Le MVD ufficiali, ovvero riconosciute e pubblicate da parte di buildinSMART, possono essere utilizzate dalle case software per implementare i propri applicativi. Questa è una fase molto importante perché rende applicativo l'MVD che però non trova riscontro immediato da parte delle case software. Infatti, allo stato si riscontra che solo poche case software aggiornano i propri applicativi con le versioni ultime della MVD. Probabilmente già risolvere le attuali problematiche di interoperabilità darebbe un impulso in questa direzione, ma sarebbe importante che anche nell'immediato ci fosse una maggiore risposta da parte dei produttori di software. Potrebbe essere auspicabile anche la certificazione dei software che possa garantire l'utente finale sulla reale interoperabilità piena dell'applicativo.

8 Conclusioni

Durante il secondo anno di ricerca, l'esperienza diretta su un caso studio di un edificio per uffici sito nel Comune di Roma, è stata di grande importanza per l'individuazione dei vantaggi relativi all'impiego del BIM nell'ambito della diagnosi energetica del parco edilizio esistente, per l'identificazione delle problematiche di interoperabilità e di eventuali soluzioni a supporto di tecnici e case software. Si è cercato di trarre delle considerazioni generali, anche se si è partiti da uno specifico caso studio, analizzato utilizzando due specifici software (uno di *authoring* e uno per l'analisi energetica).

In una prima fase, ci si è proposti di individuare e stilare le problematiche di esportazione di dati e informazioni da una diagnosi esistente (modello BEM realizzato con un software di modellazione e analisi energetica) in un formato IFC interoperabile. Alle problematiche che si possono considerare legate all'utilizzo di uno specifico software di analisi energetica, descritte nel dettaglio al paragrafo 5.1, le case produttrici possono ovviare, ad esempio attrezzandosi con delle raccomandazioni per la modellazione degli edifici finalizzata all'esportazione IFC o ottimizzando l'esportazione a livello software: un'attività basata sullo studio dettagliato di esempi, come quella portata avanti in questo lavoro, può essere utile per affrontare le problematiche legate all'esportazione dovute al singolo software.

Nello specifico processo analizzato, ad esempio, si è osservato come l'esportazione IFC delle caratteristiche geometriche e termofisiche del fabbricato sia presente ma ottimizzabile e si è notato invece come l'esportazione IFC di locali e zone termiche, nonché delle informazioni di natura impiantistica ad esse associate, risulti completamente assente. In una situazione di questo tipo, per consultare i risultati della diagnosi e i dati contenuti al suo interno che analizzano nel dettaglio il sistema edificio-impianto, è dunque necessario possedere lo specifico software proprietario utilizzato per la realizzazione dei modelli energetici o ci si deve affidare ai file che il tecnico avrà predisposto per la consegna del lavoro svolto.

Quello che emerge da questo lavoro è la necessità di definire nel dettaglio quello che della diagnosi debba essere incluso nel file IFC esportato, fondamentale nell'ottica dell'interoperabilità e della migliore fruibilità del lavoro di diagnosi.

Anche se si guarda al lavoro dell'Agenzia del Demanio, da tempo in prima linea in Italia nell'ambito standardizzazione e digitalizzazione improntata all'utilizzo del BIM per la gestione del suo enorme patrimonio immobiliare[41], quando si parla della definizione delle caratteristiche geometriche e termiche dell'involucro, degli impianti e delle caratteristiche tecnologiche del sistema edificio-impianto, si rimanda al modello BIM come la fonte da cui estrarre i parametri necessari, senza però definire nel dettaglio quali siano i contenuti

[41] L'Agenzia gestisce un patrimonio di circa 42.000 beni, sui quali è stato avviato un percorso di digitalizzazione, finalizzato non solo alla loro conoscenza e gestione, ma anche all'efficientamento e alla manutenzione. Si parla, ad esempio, della creazione di un vero e proprio "Fascicolo digitale del Fabbricato" in cui il BIM rappresenta un elemento di importanza centrale.

minimi da includere. Genericamente, si fa riferimento – per il modello impiantistico – alle caratteristiche prestazionali, necessarie al fine di permettere la classificazione energetica del bene, e – per quanto concerne il livello di sviluppo informativo – a *«tutte le informazioni rilevate sul luogo dello specifico sistema esistente, necessarie alla conoscenza approfondita del sistema edificio/impianto, anche esito delle specifiche indagini svolte per la redazione dell'audit energetico»* (come si è potuto evincere dall'analisi di uno dei capitolati informativi proposti dall'agenzia l'affidamento del servizio di verifica della vulnerabilità sismica, diagnosi energetica, rilievo geometrico, architettonico, tecnologico ed impiantistico da restituire in modalità BIM [37]).

Una prima definizione di un elenco dei parametri minimi che un modello interoperabile di una diagnosi energetica deve includere al suo interno (contenuta al paragrafo 6.3) è stato uno dei contributi di questa annualità di ricerca. Essa potrà rappresentare una guida, da un lato, per i tecnici che effettuano la diagnosi, in merito al livello di dettaglio da utilizzare e alle informazioni da inserire all'interno del modello BEM (geometrico ed energetico); dall'altro lato, per le case software, in merito al tipo di informazioni da includere nel file IFC del modello BIM da esportare ossia per la creazione di una MVD per analisi di tipo energetico.

L'esportazione dei dati e dei risultati di una diagnosi sotto forma di modello interoperabile permetterebbe di sfruttare al meglio il lavoro di diagnosi e i vantaggi del BIM per la digitalizzazione del patrimonio esistente, parallelamente a quello che ha già iniziato a fare l'Agenzia del Demanio: si potrebbe altresì pensare anche alla creazione di una sorta di database di file gbXML o IFC delle diagnosi, aperto e immediatamente consultabile, per il monitoraggio delle reali prestazioni energetiche del patrimonio edilizio esistente.

Come già sottolineato nel corso della prima annualità di ricerca, restituire in ambiente BIM la diagnosi energetica, infatti, significa rendere anche più facilmente consultabile e utilizzabile il lavoro dei tecnici diagnostici, anche nell'ottica della pianificazione e realizzazione degli interventi proposti, della futura gestione e manutenzione dell'edificio, nonché della conoscenza più approfondita del costruito.

Parallelamente, l'esperienza diretta su un caso studio ha permesso di analizzare le problematiche di interoperabilità riscontrate nell'esportazione di dati e informazioni dal modello BIM di un edificio (realizzato con un software di *authoring*) per la successiva importazione in un software di analisi energetica allo scopo di realizzare un modello BEM e analizzarne le prestazioni energetiche. Si parla dunque di tutti quei casi in cui l'anagrafica in BIM dell'edificio è già presente o viene realizzata prima dell'avvio della diagnosi.

Dalle considerazioni portate avanti all'interno di questo lavoro di ricerca, è evidente come questa situazione diventerà sempre più la prassi ricorrente nei prossimi anni: al di là dei vantaggi ampiamente discussi, basti pensare ai crescenti obblighi del BIM per gli edifici pubblici introdotti dal DM 560/2017, ai bandi già citati "per l'affidamento del servizio di verifica della vulnerabilità sismica, diagnosi energetica, rilievo geometrico, architettonico, tecnologico ed impiantistico da restituire in modalità BIM" dell'Agenzia del Demanio, al sempre più crescente adeguamento delle organizzazioni verso modelli di gestione del patrimonio immobiliare volti alla interoperabilità e alla digitalizzazione.

In questo quadro, l'analisi del caso studio ha permesso di individuare limiti e problematiche d'interoperabilità e di automazione nel passaggio delle informazioni fra i due software selezionati (di authoring e di analisi energetica), nonché di formulare delle linee guida per la modellazione BIM interoperabile finalizzata alle analisi di tipo energetico, destinate a chi realizza il modello *as built* dell'edificio oggetto di diagnosi. Come ampiamente discusso al paragrafo 5.2, il software di analisi energetica analizzato permette un'importazione della geometria e delle stratigrafie del file IFC esportato dal software di authoring, ma vi sono tutta una serie di attività di controllo e completamento del modello e di caratterizzazione di locali, zone termiche ed impianti, che sono necessarie per concludere il lavoro di diagnosi; c'è dunque ancora molta strada da percorrere prima di poter parlare di piena interoperabilità all'interno del processo analizzato. Tuttavia, questo approccio ha mostrato come operare in ambiente BIM permetta di procedere alla diagnosi senza dover rimodellare l'edificio di studio e con risultati tanto più precisi e più rapidi quanto maggiore è la complessità dell'edificio di studio.

È, tuttavia, necessario – ed è in questa direzione che questo lavoro ha inteso fornire un contributo – un buon livello di preparazione da parte dei tecnici e la definizione di un processo specifico per la migliore interoperabilità. Anche in tal senso risulta esemplare il lavoro dell'Agenzia del Demanio, che ha avviato una

formazione continua strutturata per il suo personale su questi temi, ha implementato un Common Data Environment proprietario, ha aggiornato il proprio set documentale per il BIM e implementato una routine di verifica del processo BIM.

Il lavoro si è, poi, concentrato nella ricerca delle soluzioni in ottica open BIM, per il superamento delle problematiche di interoperabilità riscontrate nella condivisione automatica dei dati e delle informazioni tra i software BIM e BEM. Questo ha portato alla definizione del processo informativo della diagnosi energetica (capitolo 6), inserito, conformemente a quanto previsto nelle UNI EN ISO 19650, nel contesto degli altri processi aziendali formalizzati, di gestione dell'asset e gestione organizzativa e, nel quale, la specifica dei Requisiti informativi e dei Modelli informativi discende dalla puntuale definizione degli obiettivi dell'organizzazione aziendale e della commessa. Per l'implementazione dell'interoperabilità piena nello scambio informativo del processo di diagnosi energetica, si è fatto riferimento alla Metodologia IDM/MVD perché basata sullo scambio informativo aperto che utilizza lo schema dati IFC e include il Manuale di consegna delle informazioni (IDM) e la Definizione della vista di modello (MVD). Si è potuto, così, fornire un contributo all'implementazione e standardizzazione del processo informativo delle analisi energetiche di edifici esistenti, attraverso la definizione di alcuni aspetti dell'Information Delivery Manual per la diagnosi energetica - primo passo per la definizione della MVD specifica per l'analisi energetica – ovvero la mappa di processo (paragrafo 6.2) e i parametri minimi necessari per la DE (paragrafo 6.3). La mappa di processo (Figura 41) risulta interessante perché, diversamente da quanto finora presente in letteratura, si riferisce al processo di analisi energetica di edifici esistenti e perché il flusso di lavoro rappresenta l'implementazione, in ottica BIM, della procedura di DE prevista nelle linee guida [2] con contestuale esplicitazione dei flussi di lavoro degli altri attori del processo, le loro interazioni e i loro scambi informativi. Quello che si evince è la stretta correlazione tra i protagonisti, a partire dal processo di avvio ("attivazione dell'incarico") che ha lo scopo di condividere, tra tutti i protagonisti coinvolti, gli obiettivi e i requisiti informativi chiesti dal committente, le necessità informative di ogni soggetto incaricato e le modalità di produzione e condivisione delle informazioni. Gli scambi informativi con il committente sono gestiti conformemente a quanto previsto nella UNI EN ISO 19650-2:2019 [24]): le informazioni consegnate dall'architetto e dal REDE, superato l'ter di approvazione da parte del committente, vengono dallo stesso condivise nell'ambiente di condivisione dati, disponibili per i futuri usi del BIM per l'intera vita dell'edificio, conformemente a quanto previsto nel CI. Oltre al report, si prevede vengano consegnati il modello energetico validato dello stato di fatto e il modello energetico validato dello stato di progetto con tutte le informazioni in essi contenute e/o ad essi collegate (elaborati cartacei, certificazioni, schede tecniche, ecc.).

La mappa di processo e l'elenco dei parametri minimi saranno utilizzati nel corso della prossima annualità per la definizione delle linee guida delle Diagnosi energetiche in ambito BIM e saranno analizzati nel dettaglio e maggiormente esplicitati.

A conclusione dell'attività di ricerca, si sono fornite alcune indicazioni per il superamento delle problematiche riscontrate nella direzione dell'interoperabilità Open BIM del processo di diagnosi energetica. Si evidenzia la necessità di definire regole per la modellazione per avere modelli di qualità, di implementare lo schema dati IFC con lo sviluppo, secondo lo standard IFC, di Property Set (Pset) per la definizione di proprietà attualmente non definite, di sviluppare banche dati (anch'esse basate su standard aperti e internazionali) di oggetti e dei relativi attributi, di definire IDM per l'analisi energetica, proseguendo quanto già realizzato con questo lavoro e, conseguentemente, di implementare la MVD per analisi energetica, con la quale, poi, aggiornare e, possibilmente, certificare i software a garanzia di scambi di dati IFC completi e affidabili.

Con questo lavoro si ritiene di aver fornito un fattivo contributo per l'implementazione del processo di analisi energetica in ambito BIM, certamente per i risultati raggiunti, ma, soprattutto, perché ha riguardato l'importante settore della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente.

9 Riferimenti bibliografici

[1] G. Centi, F. Margiotta, M. Morini, L. Pazzola, "Stato dell'arte degli strumenti, degli standard e dei metodi per il Building Information Modeling (BIM) per edifici ad alta efficienza energetica", Dicembre 2019.

[2] Calabrese, N., Carderi, A., Lavinia, C., Caffari, F., & Passafaro, E. (2019). LINEE GUIDA PER LA DIAGNOSI ENERGETICA DEGLI EDIFICI PUBBLICI, Report disponibile al link: http://www.espa.enea.it/prodotti-servizi/linee-guida-per-la-diagnosi-energetica-degli-edifici-pubblici.html

[3] UNI/TR 11775:2020. Diagnosi Energetiche - Linee guida per le diagnosi energetiche degli edifici.

[4] https://www.espa.enea.it/

[5] H. Bourg, "TUTTO SULLA ISO 19650, PT. 1: CONCETTI E PRINCIPI", 2019, disponibile al link: https://blog.archicad.it/tutto-quello-che-hai-sempre-voluto-sapere-sulla-iso-19650

[6] "BIM Uses, verifica automatica della conformità delle informazioni", Ediltecnico.it, https://www.ediltecnico.it/67484/bim-uses-verifica-automatica-informazioni/

[7] A. Pavan,C. Mirarchi, D. Cavallo, M. De Gregorio, "Standard BIM, il mondo dopo la ISO 19650", ingenio-web,https://www.ingenio-web.it/26765-standard-bim-il-mondo-dopo-la-iso-19650

[8] Alberto Pavan, "La PAS 1192-2, il Livello 2 ed i LOD non esistono più: diamoci pace", ingenio-web, https://www.ingenio-web.it/27243-la-pas-1192-2-il-livello-2-ed-i-lod-non-esistono-piu-diamoci-pace

[9] E. Kamela, A.M. Memari, "Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions", Automation in construction (Online), volume n. 97 (2019), pp. 164-180

[10] AA.VV., "REPORT DI DIAGNOSI Sede INPS, Via Chopin, 15 – 00144 Roma", nell'ambito del progetto: *ESPA - Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione*.

[11] https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/

[12] B. Dong, K.P. Lam, Y.C. Huang, G.M. Dobbs. "A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments", atti della Building Simulations 2007 Conference of the International Building Performance Simulation Association (IBPSA), disponibile in http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p363_final.pdf.

[13] R. See, J. Karlshoej, D. Davis, "An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange", 2012, disponibile al link: https://standards.buildingsmart.org/documents/IDM/IDM_guide-IntegratedProcess-2012_09.pdf

[14] https://technical.buildingsmart.org/resources/information-delivery-manual/idm-database/

[15] A. Andriamamonjy, D. Saelens, R. Klein, "A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation", Journal of Building Engineering 22, 2018, 513-527.

[16] G. I., Giannakis, K. Katsigarakis, G. N. Lilis, S. Alvarez-Dìaz. "Guidelines for OptEEmAL BIM Input Files", disponibile al link: https://www.opteemal-project.eu/files/guidelines_for_opteemal_bim_input_files_v11.pdf.

[17] Agenzia del Demanio, "BIMMS Method Statement Process. LINEA GUIDA Processo BIM (Building Information Modeling)", 2020. Disponibile online al link: https://www.agenziademanio.it/export/sites/demanio/download/documentigare/200619_DRV_All-8-Linea-guida-processo-BIM.pdf

[18] G.I. Giannakis, G.N. Lilis, M.A. Garcia, G.D. Kontes, C. Valmaseda and D.V. Rovas (2015). "A methodology to automatically generate geometry inputs for energy performance simulation from IFC

BIM models", 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, 7-9 dicembre 2015

[19] T. Maile, J.O'Donnell, V. Bazjanac, C. Rose, "BIM – geometry modelling guidelines for building energy performance simulation", 13th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Chambéry, France, 26-28 agosto 2013

[20] A. Andriamamonjy, D. Saelens, and R. Klein (2018), "A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation", Journal of Building Engineering 22, 513-527.

[21] Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti numero 560 del 01/12/2017 (DM 560/2017).

[22] UNI 11337-4:2017 Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti

[23] UNI EN ISO 19650-1 Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi

[24] UNI EN ISO 19650-2:2019 Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili

[25] EN 17472-1:2020 Building Information Modelling - Level of Information Need - Concepts and principles

[26] prEN 17473 Building information modelling (BIM) - Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset - Data templates based on harmonised technical specifications under the Construction Products Regulation (CPR)

[27] BIM Excellence, https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/

[28] J. Messner, C. Anumba, C. Dubler, S. Goodman, C. Kasprzak, R. Kreider, R. Leicht, C. Saluja, and N. Zikic, (Under Development). "BIM Project Execution Planning Guide", versione 3.0. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, disponibile al sito: http://bim.psu.edu.

[29] Kreider, Ralph G. and Messner, John I, "The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses", versione 0.9, Settembre 2013, the Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, disponibile online al link: http://bim.psu.edu

[30] Computer Integrated Construction Research Program, "BIM Planning Guide for Facility Owners", versione 2.0, Giugno (2013), the Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. Disponibile online al link: http://bim.psu.edu

[31] http://bim.psu.edu

[32] ISO/IEC 19510:2013(E), Information technology - Object Management Group Business Process Model and Notation, novembre 2013, disponibile al link: https://www.omg.org/spec/BPMN/ISO/19510/PDF

[33] Quick Guide Business Process Modeling Notation (BPMN), IDM Technical Team January 2007. Disponibile al link: https://standards.buildingsmart.org/documents/IDM/IDM_guide-QuickGuideToBPMN-2007_01.pdf.

[34] S. Pinheiro, R. Wimmer, J. O'Donnell, S. Muhic, V. Bazjanac, T. Maile, J. Frisch, and C. van Treeck, "MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation," Autom. Constr., vol. 90, no. February 2017, pp. 91–103, 2018.

[35] J. Choi, J. Shin, M. Kim, I. Kim, "Development of openBIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment", Automation in Construction 72, (2016), pp. 52-64.

[36] E. Petrova, I. Romanska, M. Stamenov, K. Svidt, R. Jensen, “Information exchange between BIM, energy performance analysis and sustainability assessment in conceptual design”, master thesis project report, Aalborg University, (2016).

[37] Agenzia del Demanio (2019), “BIMSM Specifica Metodologica – RILIEVO: PROCEDURA APERTA, AI SENSI DELL’ART. 60 DEL D.LGS. 50/2016 E SS.MM.II., PER L’AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI VERIFICA DELLA VULNERABILITÁ SISMICA, DIAGNOSI ENERGETICA, RILIEVO GEOMETRICO, ARCHITETTONICO, TECNOLOGICO ED IMPIANTISTICO DA RESTITUIRE IN MODALITÁ BIM, E PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA’ TECNICO-ECONOMICA DA RESTITUIRE IN MODALITÀ BIM […]”. ADM2019-ADM-SPECIFRIL-XX-SM-Z-GU0001_S1_P1.1.

[38] “Rapporto sulle gare BIM 2019 per opere pubbliche. Analisi del mercato e delle gare”, a cura dell’Oice-Associazione delle organizzazioni di ingegneria di architettura e di consulenza tecnico-economica, febbraio 2020, disponibile online https://www.oice.it/638197/rapporto-sulle-gare-bim-2019

[39] https://biblus.acca.it/focus/acdat-ambiente-di-condivisione-dati-parte-2/

[40] UNI EN ISO 16739-1:2020 Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management - Parte 1: Schema di dati

[41] UNI EN ISO 29481-1:2017 Modelli di informazioni di edifici - Guida per lo scambio di informazioni - Parte 1: Metodologia e formato.

[42] https://bim.acca.it/ifcpropertyset-le-proprieta-degli-oggetti-ifc/

[43] https://bim.acca.it/ifc-property-definition/

[44] EN ISO 12006-3:2016 Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information (ISO 12006-3:2007)

10 Abbreviazioni ed acronimi

ACDat	Ambiente di Condivisione dei Dati
AIM	Asset Information Model - Modello Informativo del cespite immobile
AIR	Asset Information Requirements - Requisiti Informativi del cespite immobile
BCF	BIM Collaboration Format
BMS	Building Management System
BPMN	Business Process Modeling Notation
bSI	BuildingSMART International
CDE	Common Data Environment
CI	Capitolato Informativo - (EIR per la UNI EN ISO 19650)
DE	Diagnosi Energetica
DOC	Level of Documentation
EIR	Requisiti di scambio delle informazioni (Exchange Information Requirements) - (CI per la UNI 11337)
ERM	Modello dei requisiti di scambio (Exchange Requirements Models)
IDM	Information Delivery Manual – Manuale di consegna delle informazioni
IFC	Industry Foundation Classes
IoT	Internet Of Things
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning.
LOD	Level of Development (USA), Level of Definition (UK), Livello di sviluppo informativo (IT)
MVD	Model View Definition - Definizione della vista di modello
oGI	Offerta di gestione informativa
OIR	Organization Information Requirements - Requisiti Informativi dell'organizzazione
pGI	Piano di gestione informativa
PIM	Project Information Model - Modello Informativo della commessa
PIR	Project Information Requirements - Requisiti Informativi della commessa
REDE	REferente della Diagnosi Energetica
UNI	Ente Italiano di Normazione
ZEB	Zero Energy Building