



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



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

Stato dell'arte degli strumenti, degli standard e dei metodi per il Building Information Modeling (BIM) per edifici ad alta efficienza energetica

G. Centi, F. Margiotta, M. Morini, L. Pazzola

Report RdS/PTR2019/038

STATO DELL'ARTE DEGLI STRUMENTI, DEGLI STANDARD E DEI METODI PER IL BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PER EDIFICI AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA

G. Centi, F. Margiotta, M. Morini, L. Pazzola

Con il contributo di: N. Calabrese, L. Volpe

Dicembre 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I 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: *LA1.18 - Applicazioni e criticità dei modelli BIM per le Diagnosi Energetiche – Parte I*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro

Si ringrazia Silvia Pennacchia (stagista) per la collaborazione.

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
2 IL BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	6
3 ANALISI ENERGETICA DELL'ESISTENTE IN AMBIENTE BIM	10
3.1 STRUMENTI PER IL RILIEVO E L'ACQUISIZIONE DATI DELL'EDIFICIO	11
3.1.1 <i>Dati geometrici</i>	12
3.1.2 <i>Dati energetici</i>	14
3.2 STRUMENTI PER LA MODELLAZIONE BIM (BIM AUTHORING TOOLS)	16
3.3 STRUMENTI PER L'ANALISI ENERGETICA IN AMBIENTE BIM.....	26
3.3.1 <i>Software per il BEM</i>	28
3.3.2 <i>Software italiani per Analisi Energetiche in ambiente BIM</i>	30
3.4 CERTIFICAZIONE DEI SOFTWARE BUILDINGSMART INTERNATIONAL	38
3.5 CONSIDERAZIONI GENERALI	40
4 STANDARD PER L'INTEROPERABILITÀ NELL'AMBITO DELL'ANALISI ENERGETICA	41
4.1.1 <i>Industrial Foundation Class (IFC)</i>	42
4.1.2 <i>Information Delivery Manual (IDM)</i>	44
4.1.3 <i>Model View Definition (MVD)</i>	47
4.1.4 <i>BIM Collaboration Format (BCF)</i>	50
4.1.5 <i>buildingSMART Data Dictionary (bsDD)</i>	50
4.1.6 <i>Green Building XML (gbXML)</i>	51
4.2 COMMON DATA ENVIRONMENT (CDE) O AMBIENTE DI CONDIVISIONE DEI DATI (ACDAT)	51
4.3 BIM LIBRARY PUBBLICHE E PRIVATE	51
4.4 L'ATTIVITÀ DI STANDARDIZZAZIONE	52
4.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	52
5 IL BIM NEGLI APPALTI PUBBLICI.....	53
5.1 BIM E CODICE DEGLI APPALTI PUBBLICI	53
5.1.1 <i>Adempimenti preliminari per la pubblica amministrazione</i>	54
5.1.2 <i>Bandi pubblici "BIM"</i>	54
5.2 CONSIDERAZIONI FINALI.....	55
6 CONCLUSIONI.....	57
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	60
8 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	63
9 APPENDICE A: TABELLA ESTESA: SOFTWARE ITALIANI PER ANALISI ENERGETICHE	64

Sommario

La riqualificazione energetica dell'esistente è una delle strategie più importanti per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti nel settore edilizio. L'innovazione tecnologica apportata dal Building Information Modeling (BIM) nel settore delle costruzioni può giocare un ruolo molto importante, perché consente il superamento dei limiti del processo edilizio "tradizionale" a favore di un processo "ciclico" che permette la verifica e il controllo costante delle informazioni condivise tra tutti gli attori del processo edilizio.

In questo ambito s'inserisce questo lavoro sulle diagnosi energetiche con metodologia BIM, volto al superamento dei limiti ancora esistenti nell'interoperabilità per lo scambio informativo.

Consapevoli che lo sviluppo di una metodologia così innovativa, che richiede un importante cambiamento di mentalità e una rivoluzione nei processi e negli strumenti, passa attraverso step progressivi, sono stati analizzati entrambi gli scenari che allo stato attuale si possono incontrare quando ci si avvicina alle diagnosi energetiche in ambiente BIM.

Nel primo, il processo BIM si compie dalle fasi iniziali di ideazione, a partire dalle esigenze del committente espresse nel Capitolato Informativo e concretizzate nel modello architettonico BIM dell'edificio dal quale possono essere importate digitalmente le informazioni necessarie per il modello energetico (BEM), con i livelli di completezza e di affidabilità che derivano dai limiti di interoperabilità attuali, ma con tutti i vantaggi che questa metodologia apporta.

Nel secondo, più diffuso visto anche il livello di maturità che ha raggiunto il BIM, non è presente il modello BIM *as built* dell'edificio né viene richiesta agli esperti della diagnosi la sua realizzazione. Il processo BIM potrebbe così partire dal modello energetico (BEM) e tutte le informazioni raccolte dai tecnici che effettuano la diagnosi potrebbero essere importate per la creazione del modello BIM per gli "usi" successivi.

Nel processo di interscambio dati in formato IFC di entrambi i contesti, le procedure di import/export del file di origine hanno ancora problemi di interoperabilità e carenze nel modello IFC. Primo passo per superare questi problemi è la definizione delle caratteristiche e dei contenuti minimi delle diagnosi energetiche BIM, che è uno degli obiettivi di questa ricerca nel prosieguo.

Lo scopo del nostro lavoro è anche dare indicazioni su quale sia la corretta modalità di procedere per una implementazione pienamente interoperabile dei software in ottica OpenBIM. I fornitori di software non devono puntare allo sviluppo di soluzioni ad hoc per l'interoperabilità delle specifiche applicazioni, bensì attuare soluzioni che siano indipendenti dai software proprietari che le hanno generate e per questo basate su standard aperti non proprietari che tutti possono utilizzare nel presente e, soprattutto, nel futuro.

Le ragioni di questo lavoro risiedono nel fatto che la puntuale conoscenza dello stato dell'arte consentirà, nel proseguo dell'attività di ricerca, di individuare con precisione le azioni da compiere e gli ambiti di intervento per l'implementazione della digitalizzazione in ottica OpenBIM del processo di analisi energetica, nonché di dare un contributo nella direzione della conoscenza del processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni e della consapevolezza dei benefici e dei vantaggi che essa apporta se pienamente ed universalmente sviluppata.

1 Introduzione

Le nuove politiche, i nuovi indirizzi ed obiettivi legislativi per la lotta ai cambiamenti climatici, chiedono anche all'industria delle costruzioni uno sforzo di rinnovamento volto ad aumentare la sostenibilità dell'intero processo. La digitalizzazione del settore delle costruzioni certamente può dare un'accelerazione decisiva a quanto già si sta facendo perché favorisce la riduzione degli sprechi (economici e di tempo) e la riduzione delle emissioni. Inoltre minimizza il gap tra i livelli prestazionali previsti dal progetto e le prestazioni effettivamente ottenute, grazie a una più efficace ed efficiente attività di gestione.

Nonostante con la Direttiva 2014/24/EU, l'Unione Europea abbia introdotto alcuni indirizzi ai paesi membri sull'obbligo della digitalizzazione dell'industria delle costruzioni per il settore pubblico, al fine di accrescere l'efficacia e la trasparenza delle procedure di appalto, l'applicazione diffusa del Building Information Modeling (BIM) stenta ad attuarsi. Alcune delle ragioni sono da ricercarsi nei rilevanti cambiamenti che questa metodologia apporta all'intero processo edilizio, con necessità di un importante investimento iniziale in termini di informazione e formazione per tutti gli attori coinvolti, oltre che un investimento in hardware e software. Inoltre non vi è ancora la possibilità di piena applicazione dell'OpenBIM a causa del non completo utilizzo di standard di formato dati di tipo aperto dunque non proprietario.

Nell'ambito del Work package WP1 - *Edifici ad alta efficienza energetica*, l'obiettivo del triennio dell'attività di ricerca *"Applicazioni e criticità dei modelli BIM per le Diagnosi Energetiche"* nella quale questo lavoro si inserisce, è di implementare il processo di analisi energetica in ottica OpenBIM e, in particolare, di favorire lo sviluppo delle diagnosi energetiche di edifici esistenti in ambito BIM. Allo scopo risulta fondamentale l'analisi e la definizione del flusso delle informazioni relative a questa fase del processo edilizio in tutte le attività ad essa connesse (rilievo dell'edificio, modellazione, organizzazione delle informazioni, proposta degli interventi migliorativi), e la puntuale individuazione dei dati e delle informazioni necessarie per la per la determinazione della fase stessa e di tutte le relazioni e connessioni che essa ha in tutti gli altri momenti del processo edilizio (progettazione, realizzazione degli interventi, monitoraggio e verifica, gestione e manutenzione)



Proprio per promuovere una maggiore conoscenza della metodologia BIM finalizzata alla realizzazione di edifici ad alta efficienza energetica, è stato effettuato un lavoro di analisi dello **stato dell'arte degli strumenti, degli standard e dei metodi per il Building Information Modeling (BIM)** per edifici ad alta efficienza energetica oltreché una prima analisi delle potenzialità e delle criticità dell'impiego del BIM nell'ambito delle analisi energetiche.

In particolare il focus sulle diagnosi energetiche è stato effettuato approfondendo nel dettaglio ogni singolo step che le caratterizza (rilievo, organizzazione e condivisione delle informazioni riguardanti il sistema edificio, definizione dei requisiti per l'analisi energetica da includere nel modello digitale BIM dell'edificio, valutazione di differenti interventi, analisi energetica e analisi economica, ...) al fine di evidenziare i benefici e le opportunità che derivano dall'utilizzo della metodologia BIM.

Nel dettaglio, l'analisi dello stato di fatto ha compreso lo studio degli strumenti integrati/integrabili nel processo BIM attualmente disponibili per ogni fase dell'analisi energetica, tra i quali, sulla base di specifici criteri il più possibile oggettivi, ne sono stati individuati alcuni sui quali è stata effettuata una valutazione dettagliata per individuare le criticità nello scambio di informazioni e gli elementi che, quando si modella in BIM, sono necessari per renderli interoperabili con i software utilizzati per sviluppare i modelli architettonici, strutturali e impiantistici. In sintesi sono state approfondite:

- n. 3 tecnologie disponibili per il rilievo geometrico e termofisico degli edifici esistenti;

- n. 6 soluzione software di *authoring* BIM per la modellazione BIM (con individuazione di limiti e potenzialità);
- n. 4 studi e ricerche scientifiche inerenti l'analisi energetica di edifici in ambito BIM;
- n. 6 software individuati fra i 24 applicativi italiani certificati ai sensi di legge per l'analisi energetica e analizzati sulla base di criteri legati all'applicabilità per il BIM e per la Diagnosi energetica BEM;
- alcuni standard internazionali generati per specifici usi riferiti all'analisi energetica (IDM descrive quali informazioni vanno trasmesse, da chi e verso chi, per quale scopo e in quale formato).

Il lavoro ha riguardato anche lo studio degli standard per l'OpenBIM attualmente disponibili per il settore delle costruzioni, perché i vantaggi e le potenzialità di sviluppo del BIM si basano sulla possibilità di uso di standard aperti non proprietari (quali IFC e gbXML) per rendere interoperabili software diversi e per assicurare l'integrità dell'informazione e la sua leggibilità nel tempo.

Partendo dalle criticità emerse nel corso di questa attività nello scambio di informazioni del processo di analisi energetica e considerando che i fornitori di soluzioni software devono puntare alla creazione di forme di interscambio di dati attraverso protocolli di scrittura «open» (esempio IFC), nel proseguo del triennio di ricerca saranno definite:

- La metodologia/work flow per la gestione del processo informativo OpenBIM nell'ambito delle diagnosi energetiche.
- Indicazioni per l'interoperabilità piena del BIM nell'ambito delle diagnosi energetiche.
- Linee guida per Diagnosi energetiche in ambiente OpenBIM.

2 Il Building Information Modeling (BIM)

Il Building Information Modeling (BIM) è una metodologia che permette la condivisione dei dati e delle informazioni che definiscono lo spazio costruito e favorisce la collaborazione, il coordinamento e la verifica tra i diversi attori del processo edilizio lungo l'intero ciclo di vita del bene (progettazione per tutte le aree architettonica, strutturale, impiantistica, energetica ecc., realizzazione gestione e dismissione).

Vale la pena chiarire subito che il Building Information Modeling non è un software né un modello 3D tradizionale, ma è una innovazione di processo volta alla creazione e condivisione di tutti i dati e le informazioni che caratterizzano l'ambiente costruito durante l'intero ciclo di vita. Al centro del processo c'è il modello BIM (il gemello digitale dell'edificio), un modello tridimensionale costituito da oggetti parametrici che contengono tutti i dati, le informazioni e le specifiche tecniche che li caratterizzano, oltre che le relazioni tra gli oggetti stessi.

La digitalizzazione del settore delle costruzioni consente una comunicazione e collaborazione efficace ed efficiente che porta a produrre documentazione coordinata e affidabile, dunque migliora la qualità dell'opera con riduzione di tempi e costi.

Più nel dettaglio i principali benefici e i vantaggi della digitalizzazione del processo edilizio sono:

1. **Migliore qualità dei progetti:** più precisione (simulazioni più realistiche con acquisizione delle geometrie e dei dati automaticamente dal modello BIM), rispondenza alle richieste (permette al cliente la verifica "visiva" del futuro edificio e, quindi, di prendere scelte più consapevoli) e rispetto dei tempi di consegna. Inoltre, nella fase di "maturità" piena del BIM, potrebbe facilitare molto anche il processo autorizzativo attraverso l'utilizzo di interfaccia interoperabili che migliorerebbero la trasparenza amministrativa e procedurale.
2. **Attendibilità della stima dei costi dell'opera:** la quantizzazione economica avviene con acquisizione di quantità, materiali e processi direttamente dal modello BIM.
3. **Ottimizzazione della fase di realizzazione,** per una più puntuale programmazione già nella fase di pianificazione e per il controllo digitale dell'avanzamento lavori e dell'organizzazione del cantiere;

4. **Ottimizzazione del Facility Management:** la digitalizzazione dell'esistente in un formato aperto e collaborativo, consente di creare un archivio dati organizzato che consente di sostituire i processi tradizionali, basati su elaborati cartacei, con altri più innovativi digitalizzati, che scambiano automaticamente dati tra software differenti;

Nel ciclo di vita dell'edificio nel processo BIM ogni fase rappresenta uno o più "usi" del BIM e per ogni uso c'è condivisione e arricchimento del modello con le informazioni specialistiche da parte dei singoli attori coinvolti (progettisti, impresa di costruzione, manutentori, ecc.) (Figura 1). Tale scambio avviene attraverso piattaforme di condivisione di dati che sono soggette a specifici standard.

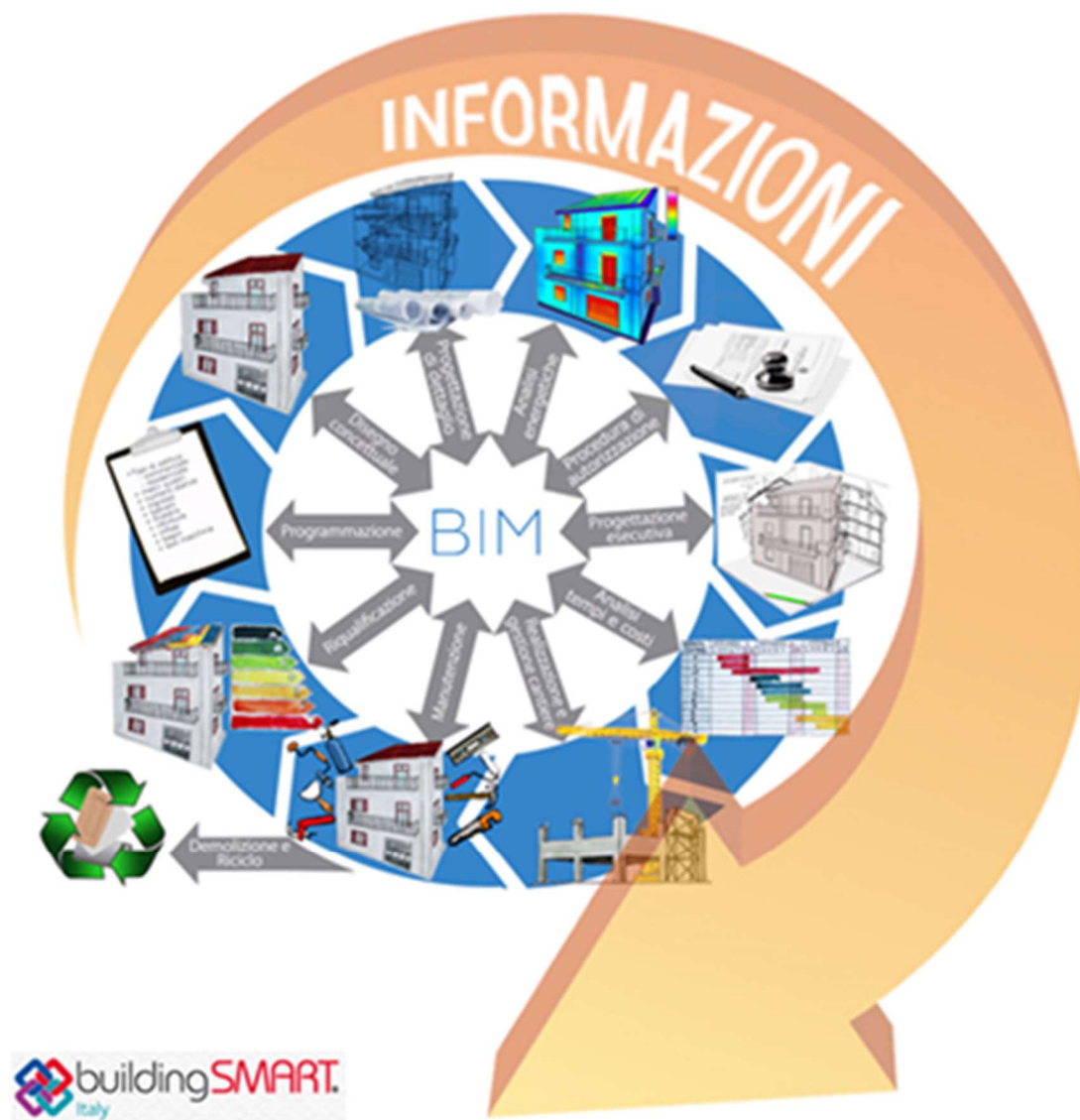


Figura 1: Ciclo di vita dell'edificio con metodologia BIM (fonte BuildingSMART Italy)

Terminata la fase di costruzione il proprietario dell'edificio riceve il modello BIM, "as built" (ossia così com'è) dell'edificio contenente tutte le informazioni che saranno necessarie per la sua gestione (facility management). È da sottolineare che non tutte le informazioni generate durante il processo saranno inserite nel modello as built, ma solo le informazioni che il committente avrà stabilito a monte, ossia nel **capitolato informativo**. Gli usi che si vogliono fare del modello BIM devono essere chiaramente identificati sin dalle fasi preliminari, sulla base degli obiettivi del progetto e del team, in modo che, già in fase di progettazione, si

possano individuare e correggere errori e incongruenze, evitando così costose varianti in corso d'opera. Parliamo di **Model Checking**, ovvero dell'insieme delle operazioni di verifica del modello BIM, di **Clash Detection**, cioè della ricerca di possibili sovrapposizioni che creano criticità tra i vari oggetti del modello (un pilastro in mezzo ad un infisso, una canalizzazione che attraversa una trave, e così via) e di **Code Checking** ossia della verifica automatica della rispondenza alle norme di riferimento.

Ad ogni elemento del modello BIM, in genere denominato "BIM Object", è possibile associare qualsiasi altra informazione anche non grafica, come ad esempio informazioni sull'installazione, sulla manutenzione, sulle istruzioni operative, le garanzie, le date di scadenza, ecc... Poiché queste informazioni sono in genere prodotte da attori diversi, è necessario già in fase di assegnazione del contratto, definire le regole per la loro raccolta, gestione, aggiornamento, conservazione, ecc.. Questo viene fatto in modo generico nel **Capitolato Informativo** e in modo puntuale nell'**Information Delivery Manual (IDM)**. L'IDM rappresenta in pratica le modalità con cui le informazioni devono essere trasmesse all'interno della filiera delle costruzioni.

Perché lo scambio informativo sia efficace ed efficiente è fondamentale procedere secondo standard aperti non proprietari (OpenBIM), cioè che non necessitano di alcun software proprietario particolare per essere letti.

Per la quantizzazione dei benefici e dei vantaggi del BIM, è prevista, sempre all'interno del WP1, una linea di ricerca per la valutazione della convenienza tecnico-economica nell'uso della metodologia BIM per tutte le fasi del processo edilizio inerenti agli aspetti energetici con deliverable a fine 2021.

Nel frattempo, per avere una prima definizione quantitativa, facciamo riferimento a una tra le varie valutazioni effettuate in precedenti attività di ricerca disponibili in letteratura.

Una stima dei vantaggi e dei benefici dell'uso del BIM con riferimento all'intero processo (Figura 2), è stata fatta nel 2012, nel nord America dalla McGraw-Hill Construction (poi S&P Global Inc.), [7] e fornisce una stima in percentuali di riduzione, di alcune delle problematiche che si possono incontrare nelle fasi salienti del processo edilizio.



Fonte: McGraw-Hill Construction, "SmartMarket Report: The Business Value of BIM in North America", novembre 2012

Figura 2 Benefici del BIM lungo il ciclo di vita dell'edificio (fonte MCGraw-Hill Construction)

Ma vantaggi e benefici importanti si hanno anche nel campo specifico dell'efficienza energetica e della sostenibilità dell'ambiente costruito. Grazie all'ottimizzazione delle strategie e delle scelte lungo tutto il ciclo di vita, migliora la performance energetica perché consente una prima valutazione degli interventi già nella progettazione preliminare e una più puntuale stima delle prestazioni energetiche dell'edificio nel rispetto dei limiti richiesti dalla normativa, ma soprattutto, perché garantisce il mantenimento degli effettivi valori prestazionali durante l'uso dell'edificio, con aumento del comfort indoor e benefici sulla salute degli utilizzatori. Alcuni approfondimenti sono riportati nel successivo paragrafo [3].

In sintesi, un processo costruttivo molto più complesso rispetto al passato per tecnologie, per numero crescente di attori coinvolti, ma soprattutto per i sempre più stringenti obiettivi di sostenibilità in tutte le fasi del ciclo di vita, i benefici che possono derivare dall'uso della metodologia BIM sono rilevanti.

3 Analisi energetica dell'esistente in ambiente BIM

La riqualificazione energetica dell'esistente è vista come una delle strategie più importanti per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti nel settore edilizio (e non solo). L'istituto europeo delle prestazioni degli edifici (Building Performance Institute Europe - BPIE) [1] ha calcolato che, nell'UE, la ristrutturazione profonda degli edifici potrebbe ridurre il 36% del loro consumo di energia entro il 2030, riducendo al contempo la dipendenza dalle importazioni di energia da paesi terzi, stimolando crescita e occupazione e creando edifici più confortevoli e più sani.

Per dare un'idea del potenziale della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, basti pensare come in Europa circa il 38% degli edifici esistenti è stato costruito prima del 1960, il 45% tra il 1961 e il 1990 e solo il 17% è successivo a tale data [2]. Questo significa che la gran parte del patrimonio edilizio europeo è stato costruito prima che la consapevolezza delle problematiche energetiche diventasse centrale all'interno dell'agenda mondiale.

Uno studio del novembre del 2019 [3], commissionato dall'UE, ha valutato tuttavia che un risparmio annuo relativo di energia primaria del 17% e del 9% per le riqualificazioni energetiche di edifici non residenziali e residenziali rispettivamente (confrontando le prestazioni dell'edificio prima e dopo la ristrutturazione), prendendo la media di tutte le riqualificazioni che hanno avuto luogo nei 28 paesi dell'Unione Europea tra il 2012 e il 2016. Si deve fare molto di più.

Sicuramente, una delle ragioni da considerare è la grande complessità del processo di riqualificazione energetica del costruito, da molti considerata ben più sfidante della progettazione sostenibile del nuovo. Quando si ha a che fare con un edificio costruito, bisogna essere in grado di conoscerlo a fondo, di analizzare a fondo tutte le problematiche che lo riguardano, di raccogliere e organizzare tutte le informazioni necessarie a proporre degli interventi di miglioramento delle prestazioni, interagire e coordinare gli interessi con differenti stakeholder (non solo i committenti, ma anche chi gestisce l'edificio, chi lo vive e lo usa...). In tal senso, l'innovazione tecnologica apportata dal Building Information Modeling nel settore delle costruzioni può giocare un ruolo assai importante.

È opinione spesso diffusa, invece, che il Building Information Modeling sia più adatto a progetti di nuova costruzione che ad interventi di riqualificazione: nei primi, la progettazione non può prescindere dalla creazione di disegni e di un modello architettonico tridimensionale, che può essere realizzata direttamente in ambiente BIM. Nella realtà, nell'ambito della riqualificazione energetica – che resta uno dei settori principali del mercato edilizio e su cui il presente lavoro intende concentrarsi – l'approccio BIM può portare a grandissimi vantaggi anche in termini di:

- Rilievo ed acquisizione di dati geometrici ed energetici relativi all'edificio;
- Organizzazione, analisi e gestione delle informazioni disponibili e dei dati rilevati;
- Creazione di modelli *as built* del costruito, sempre più accurati e ricchi di informazioni;
- Analisi e confronto di differenti scenari di intervento;
- Monitoraggio degli interventi di miglioramento prestazionale dell'edificio.

Dall'entrata in vigore del cosiddetto "Decreto BIM" [4], il numero di edifici pubblici per la cui costruzione e riqualificazione è richiesto l'utilizzo del BIM è in lenta ma costante crescita. Molte amministrazioni stanno cominciando a dotarsi degli strumenti necessari a tal scopo, anche con l'obiettivo di accelerare notevolmente le procedure interne di verifica e approvazione delle proposte progettuali diventano sempre più frequenti anche le richieste di modellazione BIM anche nei bandi di progettazione nei quali non ricorrerebbe l'obbligo per legge. Anche nel settore privato, per ragioni di ottimizzazione, maggiore trasparenza e qualità, adottare la metodologia BIM diventerà sempre più comune.

In questo paragrafo si intendono mostrare i progressi che sono stati fatti nel settore del BIM per edifici ad alta efficienza energetica, passando in rassegna le nuove tecnologie e gli strumenti che sono a disposizione di professionisti e aziende nel settore delle costruzioni. Si seguiranno, passo per passo, tutte le fasi che interessano il processo di diagnosi energetica/riqualificazione energetica di edifici esistenti.

I processi “tradizionali” prevedono la creazione di un modello energetico indipendente nel software di analisi energetica da parte del tecnico responsabile. Questo può anche portare a erronee interpretazioni dei disegni, incoerenze e una grande quantità di tempo necessaria per la creazione del modello stesso [5]. Per quest’ultima ragione, molto spesso il modello realizzato per le analisi energetiche risulta notevolmente semplificato nella geometria e nel livello di dettaglio, cosa che può portare a delle inesattezze nel calcolo effettivo delle prestazioni dell’edificio. Inoltre, data anche la complessità della progettazione energetica degli edifici, questa spesso finisce per essere approfondita solo in un secondo momento e non nelle primissime fasi del progetto. È stato invece dimostrato come integrare l’analisi energetica e testare differenti soluzioni già nelle prime fasi della progettazione di un edificio – che un processo integrato ed interdisciplinare come quello del BIM permette in maniera quasi automatica – può portare a realizzare edifici più efficienti dal punto di vista energetico e *cost-effective*.

La modellazione energetica basata sul BIM (BEM, Building Energy Modelling) potrebbe aiutare ad automatizzare questo processo e creare modelli energetici più coerenti e ricchi in termini di contenuti e informazioni. Il BEM è integrato nella progettazione, costruzione e gestione/manutenzione degli edifici in modo più efficiente poiché le prestazioni energetiche vengono analizzate utilizzando un modello BIM centrale senza dover ricreare la geometria dell’edificio, potenzialmente riducendo i tempi del processo e le eventuali inesattezze [6].

In questo lavoro, in particolare, si concentrerà l’attenzione sulla diagnosi energetica che può essere definita come l’insieme delle procedure di analisi del bilancio energetico di un sistema edificio-impianto, finalizzate a determinare il fabbisogno relativo ai principali usi finali di energia (Riscaldamento, Produzione di ACS, Climatizzazione estiva, Illuminazione, Ventilazione meccanica, Movimentazione e trasporto) ed individuare possibili interventi di miglioramento della prestazione energetica (dell’involucro edilizio e/o degli impianti tecnici) accompagnati da un’analisi costi-benefici che consente una classificazione degli stessi, in ordine di priorità decrescente.

ENEA ha elaborato le Linee Guida per la redazione delle Diagnosi energetiche. Queste *«rappresentano uno strumento che conduce il Referente della DE nello svolgimento della stessa descrivendo in maniera dettagliata le varie fasi della procedura e garantiscono l’omogeneità di esecuzione delle stesse al fine di organizzare i risultati ottenuti in banche dati che consentano confronti tra i fabbisogni energetici degli edifici esistenti e quelli di riferimento con la stessa destinazione d’uso»* [8].

3.1 Strumenti per il Rilievo e l’acquisizione dati dell’edificio

La trasformazione di un edificio esistente in una struttura ad alte prestazioni energetiche, attraverso l’adozione di tecnologie per il miglioramento dell’efficienza energetica, non può prescindere da un’accurata analisi dello stato di fatto sia dal punto di vista impiantistico che dal punto di vista dell’involucro edilizio [8]. Nell’ambito della riqualificazione energetica, che parte sempre dalla diagnosi energetica, un **momento fondamentale e di grande complessità è quello del rilievo dell’esistente**. Gli edifici, infatti, durante tutto il loro ciclo di vita subiscono numerose trasformazioni, molte delle quali spesso non sono adeguatamente documentate.

Quando si avvia una diagnosi energetica, una delle prime sfide è proprio la raccolta e l’analisi delle documentazioni tecniche disponibili e la definizione dei controlli e delle verifiche edili ed impiantistiche. I tecnici che effettuano la diagnosi si trovano spesso a dover svolgere anche rilievi geometrici dell’edificio, ad esempio per quanto concerne l’involucro edilizio, nonché a dover lavorare con documentazione spesso lacunosa, frammentata e disorganizzata

In moltissimi casi, gli elaborati tecnici e tutte le informazioni relative all'edificio durante il suo ciclo di vita non sono aggiornate e si ritrovano su archivi differenti, non sempre ben organizzati, non sempre digitalizzati¹.

Una delle cause di questo risiede nella modalità di procedere in un processo edilizio “tradizionale”, che vede attori differenti intervenire in sequenza ed in tempi diversi, con il passaggio tra una fase e la successiva che avviene senza possibilità di condivisione tra i protagonisti. Le documentazioni e le informazioni prodotte vengono elaborate e gestite da soggetti diversi, archiviate in luoghi diversi, sono di natura diversa e sono disponibili in formati diversi. Non aiutano, poi, in fase di gestione la mancanza di risorse in termini di tempo e la scarsa pianificazione, nonché la complessità di gestione dei cambiamenti e della documentazione grafica e tecnica di un edificio nei processi tradizionali. Tutto questo risulta particolarmente evidente nell'ambito degli edifici pubblici.

Un altro aspetto da considerare è il **decadimento delle prestazioni dei componenti d'involucro e degli impianti dell'edificio** durante il proprio ciclo di vita, non sempre semplice da individuare e quantificare.

I metodi di rappresentazione “tradizionali” (piante e sezioni bidimensionali), a partire dai quali si realizza il rilievo geometrico dell'edificio, non riescono a fornire un quadro dettagliato per il progettista, ma spesso sono tutto quello a disposizione di un tecnico che si appropria a una diagnosi energetica.

Il modello 3D dell'immobile *as built* che con questi dati si potrebbe costruire risulterebbe condizionato da una serie di approssimazioni, alle quali si può in parte ovviare con una lunga campagna di misure.

Oggi, le nuove tecnologie consentono di abbinare informazioni metriche, fotografiche, termografiche, etc., grazie alle quali il progettista può lavorare direttamente sulla struttura conoscendone forma, dimensioni, materiali, situazioni critiche (lesioni, situazioni di insalubrità, ecc.).

L'adozione della metodologia **BIM a monte**, come sistema di *facility management* e gestione dei dati a partire da un modello BIM dell'edificio così com'è (definito anche Digital Twin), semplificherebbe enormemente il lavoro di aggiornamento della documentazione e di tracciamento dei cambiamenti dell'edificio. In questi casi, il tecnico che effettua la diagnosi energetica, elaborato fondamentale del progetto di riqualificazione energetica di un edificio, avrebbe un lavoro sicuramente molto più agevole e la possibilità di errori risulterebbe sicuramente minore.

3.1.1 Dati geometrici

Dato il crescente interesse per il cosiddetto “as-built Building Information Modeling”, sono stati studiati numerosi metodi per il rilievo in situ di dati geometrici ed energetici. I primi sono fondamentali per la costruzione del modello e perché forniscono il “supporto” digitale delle informazioni in esso contenute; i secondi per la comprensione del comportamento reale dell'edificio allo stato di fatto [9].

In particolare, c'è una crescente richiesta per sempre più accurati e rapidi sistemi di *data acquisition*, con particolare attenzione verso quelli basati sulle nuvole di punti (*point cloud*) di dati.

Uno degli approcci più promettenti e più utilizzati è quello del **Laser Scanning**: questo si basa sull'utilizzo del laser scanner (Figura 3), uno strumento di misura diretta ad altissima precisione in grado di acquisire coordinate tridimensionali di punti regolarmente distribuiti su oggetti in modo automatico e con grande densità. Il risultato ottenuto è un insieme molto denso di coordinate spaziali che formano la così detta “nuvola di punti”. Le velocità dei prodotti sul mercato raggiungono più di un milione di punti al secondo e

¹ Per fornire un supporto in tal senso, l'ENEA ha redatto delle linee guida per la diagnosi energetica degli edifici pubblici [8]. La redazione delle linee guida per l'esecuzione della Diagnosi Energetica (DE) di edifici pubblici si inserisce nell'ambito del Progetto dell'ENEA ES-PA “Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione” (<https://www.espa.enea.it/>).

possono individuare forme geometriche più o meno complesse, con elevati gradi di accuratezza. A seconda, ad esempio, dello strumento utilizzato e della distanza di misura, la posizione di un punto può essere individuata con una precisione inferiore al millimetro. Le innovazioni tecnologiche hanno portato a dispositivi sempre più leggeri (5-10 kg).



Figura 3: Esempio di Laser Scanner (<http://precisionsurveysupply.com>)

Un laser scanner può essere facilmente stabilizzato all'esterno di un edificio grazie a una base regolabile a tre piedi. A seconda della dimensione dell'edificio da rilevare, della complessità del rilievo e del grado di dettaglio desiderato aumentano il numero di misurazioni da eseguire, corrispondenti anche a cambi di posizione dello strumento di misura: 4 o 5 per rilevare un appartamento, oltre 100 per il rilievo esterno del complesso rappresentato in Figura 4.

Negli ultimi anni, i tempi di scansione si sono ridotti da più di trenta a un paio di minuti, diminuendo notevolmente la durata della fase di rilievo. Inoltre, molti dispositivi sono dotati anche di fotocamere in grado di assegnare il colore reale ai dati acquisiti, fornendo ulteriori informazioni a supporto.



Figura 4: Esempio di rilievo tramite Laser Scanner (<http://lasia.it/rilievo-laser-scanner-ed-bim-connubio-perfetto/>)

Tra i principali difetti di un laser scanner ci sono sicuramente gli elevati costi: il laser scanner è un dispositivo costoso che necessita di manodopera esperta, in fase di misura (*data collecting*), ma soprattutto in fase di elaborazione dei dati acquisiti (*data processing*). La sua elevata risoluzione può infatti portare a dover gestire nuvole di punti con parecchi milioni di punti.

Una prima elaborazione consiste nel mettere insieme e allineare le nuvole di punti ottenute per ciascuna stazione di misura, in un unico sistema di riferimento indipendente, attraverso l'utilizzo di appositi software. L'elaborazione finale dei dati rilevati si diversifica molto in base al settore specifico d'impiego: per questo motivo, sono presenti sul mercato dispositivi software specifici e mirati per le diverse applicazioni.

La nuvola di punti si presta come ottima base di partenza per la realizzazione del modello tridimensionale. Nei moderni progetti di restauro o ampliamento di edifici, soprattutto storici, l'acquisizione dell'esistente tramite nuvola di punti diventa sempre più richiesta, non tanto per la rapidità di esecuzione del rilievo quanto, per la precisione del modello ottenuto.

Numerose ricerche sono state portate avanti sul tema "SCAN-to-BIM" che utilizza le ultime tecnologie hardware e software per convertire i dati di nuvole di punti e rilievo laser in complessi modelli 3D BIM, focalizzandosi sui differenti approcci possibili per l'automazione di tale processo (e quindi per la riduzione di errori, tempi e costi dello stesso) e per la semplificazione del *workflow* ad esso connesso anche attraverso l'integrazione con altri sistemi di rilievo. Si vedano ad esempio le ricerche di Bassier et al. [10] e Tang et al. [11].

Non è obiettivo di questo lavoro approfondire queste ricerche, quanto sottolineare come la creazione – più o meno "automatizzata" – di modelli BIM a partire dal rilievo del costruito, provvisti di informazioni non solo di natura geometrica, rappresenti una grande opportunità per tecnici, progettisti e committenti al fine di velocizzare notevolmente il lavoro di rilievo dell'esistente e la creazione di modelli *as built* di elevata qualità e precisione.

A questo proposito vale la pena sottolineare come molte società si siano specializzate proprio sulla fornitura di servizi SCAN-to-BIM per architetti, ingegneri, progettisti MEP e amministrazioni.

Fra le altre tecnologie per il rilievo dell'esistente che possono diventare una buona base per la creazione di modelli tridimensionali per il BIM, si può citare anche la **fotogrammetria**, che utilizza immagini bidimensionali per mappare uno spazio tridimensionale. Essa risulta più economica e più semplice dal punto di vista operativo rispetto al laser scanning, ma meno precisa e celere, per questo è utilizzata a scale maggiori ossia dove è richiesta una minore "risoluzione" del misurato. In effetti, specialmente quando applicata a droni (**aerofotogrammetria**), risulta particolarmente utile per rilievi topografici e geologici, modelli 3D di grandi infrastrutture, curve di livello (con ricostruzioni nuvole di punti), mappatura di cantieri e di territori, *rendering* di edifici, monitoraggio siti con dissesto idrogeologico, etc.

3.1.2 Dati energetici

Tantissimi studi hanno dimostrato che le reali prestazioni energetiche di un edificio (*as built*) possono variare significativamente rispetto alle prestazioni di progetto (*as designed*). Tanto più se ci si riferisce agli edifici storici o a tutti gli edifici costruiti senza una specifica attenzione alle problematiche di natura energetica per le quali risulta particolarmente complesso definire e prevedere le prestazioni energetiche, anche per la mancanza di analisi e documentazioni delle prestazioni dei componenti.

Uno degli obiettivi primari della diagnosi energetica, che poi è la fase iniziale di ciascun processo di riqualificazione energetica dell'esistente, è proprio di analizzare e comprendere a fondo le reali prestazioni energetiche di un sistema edificio-impianto nonché individuarne le debolezze e gli aspetti del sistema edificio-impianto su cui intervenire per ottimizzarne i consumi energetici.

Sono moltissime le tecniche che possono utilizzarsi per rilevare in situ le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio e degli impianti tecnici di un edificio e non è obiettivo di tale lavoro analizzarle nel dettaglio. Quello su cui si intende porre l'accento è il modo in cui queste possano integrarsi all'interno del processo BIM.

In tal senso, merita una menzione il tema della termografia abbinata ai sistemi di rilevamento, introdotti al precedente paragrafo, della fotogrammetria e del laser scanning (i cui vantaggi in ottica BIM sono stati ampiamente descritti).

La **termografia** è una tecnica di analisi non distruttiva che si basa sull'acquisizione attraverso uno strumento chiamato "termocamera" di immagini nell'infrarosso e che permette di visualizzare i valori assoluti e le variazioni della temperatura degli oggetti, indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile. Nell'ambito dell'analisi di edifici, essa rappresenta un utile strumento diagnostico per identificare ponti termici, punti di dispersione termica dell'involucro (fughe d'aria, problemi di umidità, difetti nell'involucro), ma anche negli impianti (ad esempio, il mancato isolamento delle tubature) [47].

Si tratta di un'analisi di tipo qualitativo, ma può per confronto risultare un supporto estremamente utile alle analisi energetiche. È altresì vero che, dato il limitato campo di visione di una termocamera, documentare con la termografia un edificio richiederebbe un grandissimo numero di immagini, il che risulterebbe in lunghi tempi per il rilievo e per l'analisi ed elaborazione dei dati: per questo, nella prassi, non viene utilizzata che per analisi puntuali.

Numerosi laser scanner e strumenti per rilievi fotogrammetrici utilizzano oggi anche la termografia per restituire spazialmente e contestualmente alle misure geometriche, anche le proprietà di temperatura dei punti degli oggetti rilevati. Si otterrebbe così, senza ulteriori sforzi e tempi di rilievo, anche una mappatura delle differenti temperature direttamente in un modello 3D.

Un interessante lavoro di ricerca ha proposto una metodologia per l'elaborazione semi-automatica di una nuvola di punti tramite scansione laser e arricchita con la trasmittanza termica (U value) degli elementi dell'involucro di un edificio, ottenuta attraverso un bilancio energetico a partire dai valori di temperatura misurati con una termocamera. Il modello BIM as-built risultante viene definito in base al linguaggio gbXML, creato appositamente per essere utilizzato nell'analisi delle prestazioni dell'edificio in ambiente BIM.

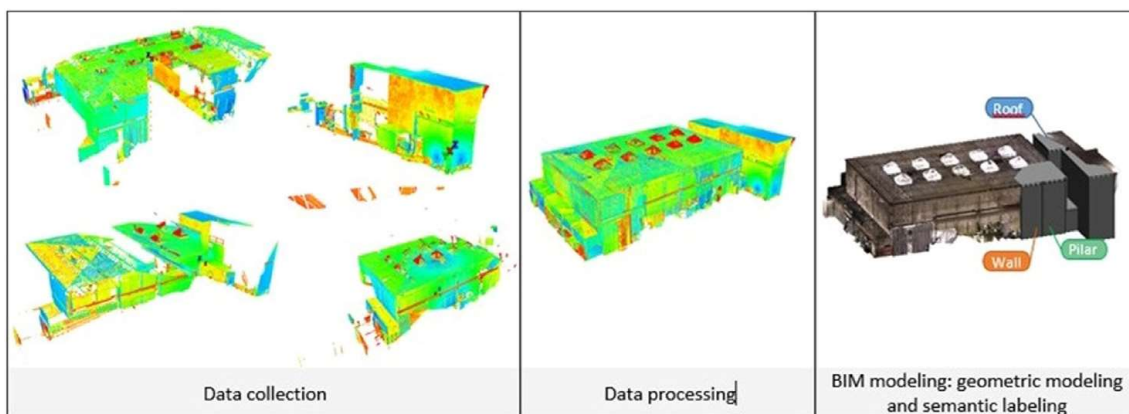


Figura 5: Processo di creazione di un modello BIM as built di un edificio attraverso laser scanner + termografia. Fonte: Sanhudo et al. (2018)

Nonostante tutti i vantaggi elencati e i progressi raggiunti, che sono incontrovertibili, restano delle **criticità** che ostacolano la diffusione di tali strumenti e metodi: gli investimenti necessari in termini di hardware e software sono ancora molto alti e lo sono anche quelli per la formazione e l'acquisizione delle conoscenze tecniche necessarie per il loro impiego.

In tal senso, è necessario rinforzare programmi di formazione tecnica e di supporto finanziario agli studi di progettazione e alle società che stanno provando ad approcciarsi a questi nuovi metodi; al tempo stesso, è necessario promuovere l'informazione in tale campo di proprietari e gestori di edifici e delle amministrazioni. Questo paragrafo intende fornire un contributo in tal senso.

3.2 Strumenti per la modellazione BIM (BIM Authoring tools)

Nel settore edilizio, il complesso tema dell'intervento sugli edifici esistenti ha differenti accezioni, che oscillano tra conservazione e trasformazione, riguardando recupero, manutenzione e riqualificazione, in cui gli input più importanti si riferiscono principalmente alla perdita degli originari livelli prestazionali dovuti all'invecchiamento o ad agenti esterni, all'adeguamento funzionale-spaziale alle nuove esigenze degli abitanti e all'adeguamento delle prestazioni energetiche rispetto ai nuovi canoni di qualità e rispetto all'avanzamento tecnologico. Come già ampiamente discusso al precedente paragrafo, è ben noto che gli interventi di riqualificazione energetica sono finalizzati a:

- contenere i consumi energetici attraverso l'utilizzo di tecnologie per potenziare l'efficienza e il risparmio energetico degli edifici;
- ridurre le emissioni di inquinanti e di gas serra e il relativo impatto sull'ambiente;
- migliorare il comfort degli ambienti interni;
- utilizzare in modo razionale le risorse energetiche, attraverso l'uso di fonti rinnovabili in sostituzione delle fonti energetiche fossili;
- promuovere strategie e tecnologie energetiche nuove e rinnovabili, ottimizzando la gestione della domanda di energia.

L'intervento su un edificio esistente impone un ragionamento sull'adeguatezza dei metodi e degli strumenti di progettazione tradizionali. Il confronto con la complessità e la multidisciplinarietà del progetto dell'esistente comporta inevitabilmente la sperimentazione di nuovi processi e nuove tecnologie in grado di prefigurare e verificare l'efficacia delle trasformazioni.

La complessità dei progetti di riqualificazione e la fondamentale integrazione dei saperi richiede il superamento di una concezione lineare del processo progettuale. La natura stessa del processo progettuale, come pure quello edilizio, non è governata da una logica lineare, ma piuttosto riconducibile a quella propria dei sistemi complessi: è necessario associare ad ogni fase decisionale un momento di verifica, in cui controllare gli effetti sull'organismo edilizio ed eventualmente avere la possibilità di rivedere le scelte progettuali, mediante un costante controllo in itinere. Questa metodologia di lavoro è propria di molti processi produttivi ed è conosciuta, in ambito edilizio, sotto il nome di **progettazione integrata**.

In una prospettiva più ampia e articolata, l'elaborazione del progetto deve essere condotta contemporaneamente su più livelli e da più attori, andando a esplorare contemporaneamente tutti gli aspetti compositivi, distributivi, tecnologici ed economici del sistema, analizzando il modo in cui questi possano interagire tra loro.

Lo strumento in grado di offrire un'opportunità di controllo per i progetti di retrofit è proprio il Building Information Modelling (BIM), con modelli 3D definiti intelligenti poiché in grado di stabilire delle relazioni con gli altri componenti del progetto, dalle caratteristiche del sito, al rendimento energetico, alla qualità dell'illuminazione, alla quantità dei materiali utilizzati e alle relative proprietà, alla stima dei costi ecc.

Già dalle prime fasi di modellazione e analisi dello stato di fatto negli interventi di retrofit, un processo progettuale basato sul BIM rivela decisivi vantaggi: dalla possibilità di ottenere un rilievo dettagliato della struttura esistente attraverso scansioni laser 3D, all'analisi energetica di soluzioni alternative già nelle fasi di concept.

Inoltre, l'adozione della metodologia BIM permette un continuo controllo dei costi a seconda degli interventi progettati: il confronto con la fattibilità economica costituisce un passaggio decisionale come sempre essenziale, che diventa non solo il principale lasciapassare delle decisioni e dei programmi di intervento, ma anche il momento della misura dell'adeguatezza ed efficienza tecnologica delle soluzioni possibili.

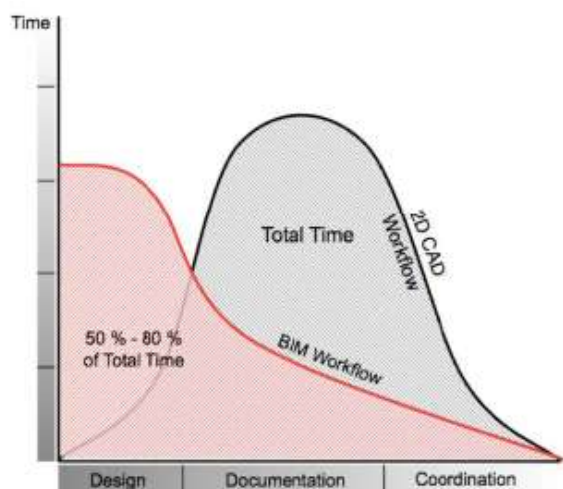
Infatti, il BIM, inteso come un nuovo modo di lavorare, è una metodologia che consente una maggiore efficienza nei processi ed una migliore efficacia nella qualità del prodotto rispetto ad un disegno CAD, 2D o 3D, portando vantaggi competitivi nella costruzione.

Si tratta di un processo in cui il software 3D viene utilizzato per sviluppare un modello di informazioni sull'edificio basato su criteri importanti per la traduzione del progetto dell'edificio.

Gli strumenti di creazione producono modelli, mentre gli strumenti di controllo e analisi studiano o aumentano la ricchezza di informazioni in un modello. La chiave sta nel collegamento tra il modello 3D ed un potente database di proprietà, quantità, mezzi e metodi, costi e programmi.

Quindi, l'intero modello di costruzione con tutti i documenti di progetto si trovano in un database integrato, in cui tutto è parametrico ed interconnesso. In tal modo l'informazione risulta aggiornata e coerente e il rischio di errori, dovuto a modifiche, è ridotto al minimo, consentendo così di ottenere delle riduzioni significative in termini di tempistiche di lavoro rispetto ai metodi di progettazione tradizionali.

Ciò consente un'ottimizzazione dell'intero processo, come riportato nella Figura 6, che consiste in:



- *Trasparenza del design per tutte le parti interessate*
- *Migliore controllo e controllo di qualità di progettazione, costi e pianificazione*
- *Potente visualizzazione del design*
- *Vera collaborazione tra le parti interessate del progetto e gli utenti BIM*
- *Miglioramento del controllo e della garanzia della qualità*

Figura 6: Tempi impiegati lavorando con software CAD e software BIM - Ottimizzazione del processo

Inoltre, come già sottolineato, la metodologia BIM consente di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione (quella architettonica, strutturale, impiantistica, energetica e gestionale) facilitando la collaborazione e la comunicazione. Ciò fa sì che fornitori, architetti, ingegneri e appaltatori risultino sempre aggiornati su tutti gli aspetti di un progetto, riducendo i costi aggiuntivi di errori e ritardi e ciò attraverso integrazioni con software di terze parti, contribuisce a semplificare ulteriormente i flussi di lavoro di costruzione. Infatti, idonee ed adeguate integrazioni con sistemi aziendali come software di contabilità, sistemi ERP e strumenti di pianificazione, risolvono il problema della scarsa interoperabilità, che affligge da anni i suddetti settori di architettura, ingegneria e costruzione.

È proprio grazie alle funzionalità come la gestione dei problemi, la gestione della qualità, la gestione delle risorse e la reportistica di dati e analisi che possono caratterizzare i software per il BIM che, sulla base di uno studio di "Connecting Teams" è stato possibile evidenziare, tra i vantaggi dei processi e degli strumenti BIM, come riportato anche in Figura 7, i seguenti dati:

- Riduzione di errori nella progettazione;
- Comunicazione più veloce;
- Maggiore soddisfazione del cliente con maggiore visibilità e input del progetto;
- Progetti di qualità superiore.

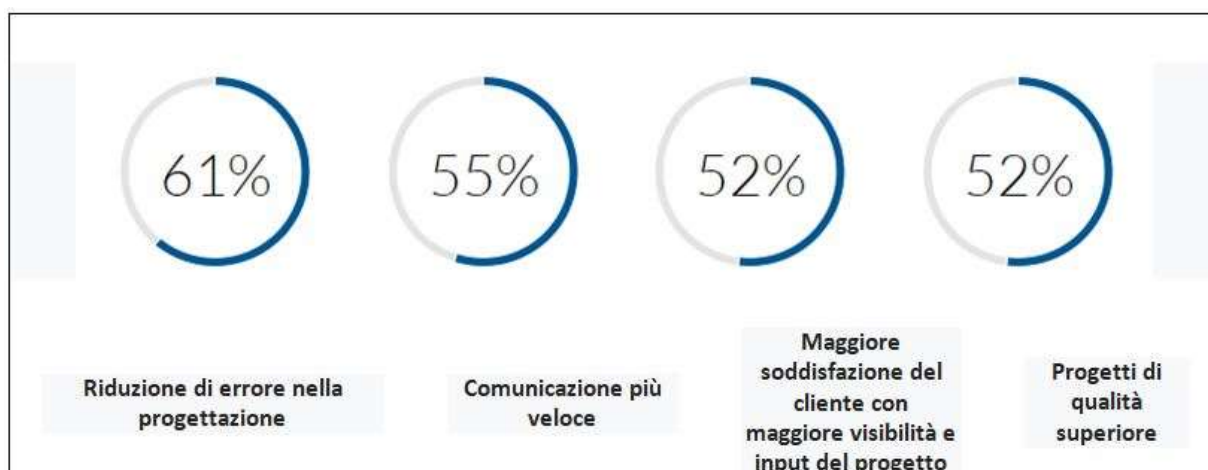


Figura 7: Vantaggi dei processi e degli strumenti BIM

Gli strumenti di authoring BIM (a volte chiamati piattaforme BIM) sono strumenti utilizzati nella progettazione per generare dati per molteplici usi. Gli utenti comuni di questi strumenti sono: designer, team di conversione da 2D a 3D e subappaltatori.

Sebbene esistano strumenti di authoring generico che coprono le basi dell'architettura (strutturale e MEP, ad esempio), alcuni strumenti sono specifici di una disciplina. Tali strumenti di creazione parametrica utilizzano una combinazione di grafica e informazioni e vengono utilizzati durante la fase di progettazione fino alla fase di costruzione. Vari e differenti sono i produttori che vengono classificati come attori in questo settore.

È a tal proposito che sono stati analizzati differenti "tools" disponibili nel mercato odierno, strumenti, cioè, che possono essere utilizzati, per vari fini, a seconda del progetto sul quale si sta operando, ad esempio per un modello di ampliamento rapido, per la prototipazione di costruzione virtuale, per la documentazione di costruzione e/o persino per una progettazione dettagliata del livello di fabbricazione di un intero edificio.

Più in generale il software di progettazione e modellizzazione delle informazioni di costruzione (BIM) comprende prodotti di progettazione assistita da computer (software CAD) utilizzati comunemente nei settori dell'architettura e dell'edilizia. Molti di questi prodotti offrono strumenti e librerie specificamente rivolti alla progettazione e costruzione architettonica, inclusi meccanici, elettrici e idraulici (MEP) e modellistica delle informazioni sugli edifici (BIM).

Il software BIM offre un processo basato su modelli per la progettazione e la gestione di edifici e infrastrutture, andando oltre i disegni costruttivi per generare una rappresentazione digitale anche delle proprietà funzionali di una struttura. Per qualificarsi tale da poter essere considerato nella categoria *Building Design and Building Information Modeling* (BIM), un prodotto deve:

- Fornire strumenti di progettazione assistita da computer 2D o 3D specifici per la progettazione e la costruzione architettonica;
- Includere funzionalità di collaborazione che consentono a più membri del team di lavorare contemporaneamente sullo stesso modello di progetto;
- Offrire strumenti per ottimizzare le prestazioni dell'edificio con dati sulle prestazioni e motori di analisi avanzati.

Approcciare secondo il processo BIM senza conoscere i vari e differenti strumenti che sono ad oggi disponibili non porterebbe ad un efficace uso di questa nuova metodologia di lavoro condiviso. Vengono, quindi, di seguito riportati alcuni dei "tools" analizzati, nonché descritti relativamente alle loro funzionalità e caratteristiche tecniche e di gestione.

Essendo software commerciali, onde evitare di privilegiare un prodotto piuttosto che un altro, verranno menzionati con termini differenti dai loro propri.

Software 1:

È uno strumento di modellizzazione delle informazioni di costruzione per l'ingegneria strutturale e MEP, la costruzione e la progettazione architettonica. Programma in grado di supportare un processo di progettazione multidisciplinare per la progettazione collaborativa e di coordinare ogni elemento dell'edificio in un unico database. Include funzionalità per tutte le specializzazioni coinvolte in un progetto edilizio, consentendo di importare, esportare e collegare i dati con i formati più comuni, tra cui IFC, DWG e gbXML. Lo strumento riduce inoltre al minimo il rischio di errori causati da errori di comunicazione in quanto tutto il processo passa attraverso un unico sistema.

VANTAGGI:

• Strumenti multidisciplinari • Modelli immersivi • Visualizzazioni dettagliate	• Immagini documentate • Piattaforma interoperabile
---	--

FUNZIONALITA':

• Componenti parametrici • Ripartizione del lavoro • Orari • Interoperabilità e IFC • Componenti aggiuntivi • Annotazione	• Parametri globali • Progettazione architettonica • Ingegneria strutturale e fabbricazione • Ingegneria e fabbricazione dei deputati • Costruzione
--	---

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati • Windows Distribuzione • Sul posto • API aperta Tipi di clienti • Piccola impresa • Grandi imprese • Media impresa	Supporto linguistico • inglese • Cinese • Tedesco • giapponese • spagnolo • francese • russo • italiano • portoghese
--	---

Software 2:

Software che trova largo impiego nell'ambito della progettazione architettonica in grado di permettere all'utente di lavorare con oggetti ai quali sono applicate proprietà e dati parametrici. viene utilizzato da urbanisti, architetti e designer per migliorare i loro processi di progettazione. Le sue soluzioni CAD, in grado di creare geometrie 2D e 3D, sono progettate per soddisfare tutti gli aspetti dell'intero processo di progettazione per l'ambiente di costruzione, compresa la sua ingegneria ed estetica. È infatti considerata come una suite di progettazione completa con varie funzioni di modellazione e visualizzazione delle informazioni sugli edifici per supportare la maggior parte delle esigenze degli studi di architettura. Un modello realizzato con questo tipo di software può essere descritto come un database BIM centralizzato e accessibile a tutti i partecipanti alla progettazione. Il software offre fluidità di collaborazione senza rischiare di perdere informazioni con la gestione integrata delle proprietà IFC, DXF e DWG.

VANTAGGI:

• Condivisione e visualizzazione delle informazioni tra team • Comunicazione in tempo reale che determina controllo e coordinamento dei modelli più efficienti	• Consente di sfruttare le espressioni logiche per creare nuove proprietà e valori basati sui parametri dell'elemento • Consente di sviluppare, progettare e dettagliare sistemi di facciata continua gerarchici con facilità utilizzando i modelli modulari.
---	--

FUNZIONALITA':

• Design della facciata • Navigazione 2D più veloce e fluida • Profili personalizzati parametrici	• Proprietà basate sull'espressione • Miglioramenti della produttività e del flusso di lavoro
---	--

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati • Windows • androide • iPhone / iPad • Mac • basata sul Web Distribuzione • Cloud ospitato • Sul posto Tipi di clienti • Piccola impresa • Grandi imprese • Media impresa	Supporto linguistico • inglese • Cinese • Tedesco • giapponese • spagnolo • francese • russo • italiano • portoghese • olandese • turco • svedese
---	--

Software 3:

Soluzione software di authoring BIM che si descrive come un sistema CAD orientato al BIM. Ciò significa che per gli utenti sarà molto più facile iniziare a lavorare in 2D e successivamente convertirli in 3D senza perdere alcun lavoro precedente. Offre funzionalità di collaborazione che consentono agli utenti di lavorare sui propri progetti ovunque si trovino e coordinarsi con le persone in varie discipline. Dispone di una suite completa di soluzioni software per un progetto BIM, che comprende soluzioni di architettura, ingegneria, gestione delle strutture, gestione dei costi e gestione in tutto il progetto e le workstation, infatti supporta architetti e designer dalla presentazione del progetto iniziale alla produzione di disegni esecutivi e layout di progettazione dettagliati, nonché alla pianificazione dei costi di costruzione. Anche in questo caso si ha la garanzia che nessuna informazione vada persa e, al fine di garantire uno scambio di dati affidabile tra i progettisti coinvolti, il software dispone di interfacce di alta qualità per tutti i formati tradizionali, tra i quali DWG, DXF, IFC e PDF.

VANTAGGI:

• Funzionalità di modellazione 3D che consente libertà e flessibilità • Visualizzazioni realistiche di progetti BIM grazie ad un motore di rendering in grado di produrre rappresentazioni visive di alta qualità • Collaborazione ottimizzata • Integrazione con componenti aggiuntivi per la gestione di progetti	• Crea disegni con la massima precisione, accurati ed aggiornati • Facile accesso agli strumenti basati su ruoli e attività • Scambio regolare di dati • Gestione dell'informazione, poiché in grado di monitorare il modo in cui le informazioni vengono utilizzate e scambiate durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.
--	---

FUNZIONALITA':

• Libertà di design • Design con BIM • Modellazione 3D senza compromessi • Visualizzazione al massimo livello • Giusta rappresentazione per ogni schermo • Precisione fino ai disegni di lavoro • Collaborazione semplificata e ottimizzata	• Etichettatura coerente e corretta di oggetti all'interno di sezioni e viste • Interfaccia utente intuitiva • Facilitato lavoro basato su compiti e ruoli • Decollo affidabile della quantità • Scambio regolare di dati • Gestione efficiente delle informazioni
---	---

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati • Windows • Mac • basata sul Web Distribuzione • Cloud ospitato • API aperta Tipi di clienti • Piccola impresa • Grandi imprese • Media impresa	Supporto linguistico • inglese • spagnolo • francese • italiano • olandese
---	--

Software 4:

È un software che si presenta come soluzione molto semplice e una curva di apprendimento che offre grandi possibilità nel settore utilizzato per architettura, interior design, urbanistica, design industriale o ingegneria civile ed eccelle nella creazione e nella modifica di concetti 2D e 3D. Il suo vero punto di forza è la facilità d'uso supportata da una serie di potenti funzionalità di qualità professionale e supporto tempestivo. Alcune delle sue funzionalità integrate includono effetti di luce, trame, un gestore di livelli e animazioni. Sebbene l'applicazione non offra un'ampia gamma di modelli integrati, fornisce un accesso unico al magazzino 3D. Dispone di tutti i simboli e modelli che garantiscono ai progettisti CAD, di diverso livello di abilità, di ottenere i risultati desiderati.

VANTAGGI:

• Soluzione di progettazione assistita da computer nota per la facilità d'uso • Funzionalità e strumenti che supportano la progettazione 2D • Interfaccia utente ben realizzata per competere con i maggiori software CAD	• Possibilità di utilizzo di palette personalizzabili che possono essere aggiunte, rimosse o riorganizzate come si desidera. • Gran parte delle funzionalità focalizzate sulla progettazione 3D.
---	---

FUNZIONALITA':

• Effetti luminosi • Textures, • Gestore di livelli	• Animazioni • Modelli 3D • Modelli 2D
---	--

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati • Windows • Mac Supporto linguistico • inglese • svedese	Distribuzione • Sul posto Tipi di clienti • Piccola impresa • Grandi imprese • Media impresa
---	--

Software 5:

Software le cui funzionalità avanzate di modellazione 3D parametrica consentono ai professionisti di qualsiasi disciplina, di creare modelli BIM basati su dati. Può infatti utilizzare la modellazione mesh e il push/pull solido, ad esempio, per creare un design concettuale e creare contenuto BIM parametrico. È un sistema software di progettazione di edifici costruito per progettare, analizzare, costruire e gestire infrastrutture di qualsiasi scala e tipo. Si integra con molteplici discipline che vanno dagli architetti agli ingegneri elettrici, meccanici e strutturali.

I team di progetto possono unificare il loro lavoro all'interno della piattaforma, includendo progetti e modelli creati con le diverse applicazioni BIM specifiche delle varie discipline. In questo modo è possibile creare modelli BIM completi e pluridisciplinari e la relativa documentazione finale. Con questo software universale di modellazione, i team potranno comunicare facilmente per condividere documentazione finale intelligente e garantire la piena integrità dei dati.

VANTAGGI:

• Accurata analisi delle prestazioni del sistema di costruzione con di simulazione che consentono di visualizzare i risultati del mondo reale e valutare i sistemi di costruzione al fine di identificare le migliori opzioni di progettazione. • Collaborazione ottimizzata e condivisa tra team multidisciplinari	• Creazione modelli BIM parametrici completi e pluridisciplinari • Disponibilità di funzionalità complete per la modellazione di strutture in acciaio, cemento e legno da pareti, fondazioni e colonne ad altri componenti strutturali. • Disponibilità di animazioni con dettagli realistici e rendering di alta qualità
--	---

FUNZIONALITA':

• Disegno 2D • Modellazione 3D	• Modellazione del design • Gestione documenti
---	---

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati • finestre • Mac Distribuzione • Sul posto Tipi di clienti • Grandi imprese • Media impresa	Supporto linguistico • Inglese • Cinese • Tedesco • spagnolo • francese • russo • italiano • polacco • svedese
---	---

Software 6:

Software di modellazione, progettazione e documentazione BIM nel settore del costruito pensato fin dal processo della progettazione. Crea disegni 2D, modelli 3D, modelli di informazioni e rendering. Offre anche strumenti che aumentano il flusso di lavoro creativo dalla concettualizzazione all'attuale processo di costruzione. Dispone di funzionalità di modellazione, elaborazione e documentazione per consentire al team di lavoro di eseguire tutte le attività correlate in un'unica finestra. Inoltre, i rendering di alta qualità possono essere creati con facilità e direttamente all'interno dei file grazie alle trame predefinite all'interno di migliaia di oggetti della libreria.

VANTAGGI:

- I migliori strumenti del settore: costruito con il BIM al suo interno, offre i migliori strumenti di modellazione nel settore tali da consentire un continuo perfezionamento del processo creativo e dei prodotti finali. - File interoperabili: consente di incorporare informazioni provenienti da più fonti e di esplorare più progetti da un'unica piattaforma.	- Disegni avvincenti: è possibile creare grafica 2D e 3D altamente dettagliata e coinvolgente; consente inoltre di progettare, documentare e comunicare concetti e idee. - Software multiplatforma: sebbene molti software sono riservati solo per una singola piattaforma, funzionando sia su Windows che su Mac, consente facile collaborazione e condivisione.
--	--

FUNZIONALITA':

- Modellazione 2D e 3D - Modellazione BIM - Scripting grafico - Modellazione della superficie di suddivisione	- Strumenti di disegno e annotazione - Orari e documenti di costruzione - Condivisione del progetto - Importazione ed esportazione di file
--	---

DETTAGLI TECNICI

Dispositivi supportati - finestre - Mac - Basata sul web Distribuzione - Cloud ospitato - Sul posto	Tipi di clienti - Piccola impresa - Grandi imprese - Media impresa - Liberi professionisti Supporto linguistico - Inglese
--	--

Di seguito viene riportata una tabella di sintesi, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, inerente al confronto dei software sopra analizzati.

NOME	AMBITO	DOMINIO	UTENTI	INTEROPERABILITÀ
Software 1	Pianificazione e Progettazione	Architettura	Architetti e Disegnatori	IFC, gbXML, DWG
	Pianificazione e Progettazione Costruzione	Strutture	Ingegneri Strutturisti	IFC, DWG
	Pianificazione e Progettazione	MEP	Ingegneri meccanici, elettrici e idraulici	IFC, DWG
Software 2	Pianificazione e Progettazione Costruzione	Architettura	Architetti	IFC, DXF e DWG
Software 3	Pianificazione e Progettazione	Architettura (progettazione 3D)	Architetti e Disegnatori	IFC, DWG, DXF e PDF
	Pianificazione e Progettazione Costruzione	Strutture (progettazione 3D per progettazione strutturale)	Ingegneri Strutturisti	IFC, DWG, DXF e PDF
	Operazione	Gestione delle strutture	Gestori di strutture	IFC, DWG, DXF e PDF
Software 4	Pianificazione e Progettazione	Progettazione architettonica	Architetti	DWG e DXF
Software 5	Pianificazione e Progettazione Costruzione Operazione	Strutture Architettura (progettazione 3D) Strutture (progettazione 3D per progettazione strutturale) Gestione delle strutture MEP	Ingegneri Strutturisti Architetti e Disegnatori Ingegneri meccanici, elettrici e idraulici Gestori di strutture	DWG, DXF, PDF, IFC, gbXML
Software 6	Pianificazione e Progettazione	Progettazione del Paesaggio	Progettisti e Architetti del paesaggio	IFC, PDF E DWG

Tabella 1: confronto caratteristiche software BIM

Dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si evidenzia come i software disponibili abbracciano in maniera integrata la gran parte delle attività proprie del contesto generale delle costruzioni. Per ognuno dei software sono individuate le funzioni di un bisogno specifico (ambito), il dominio entro il quale queste vengono svolte/risolte, gli utenti/attori di tali azioni e soprattutto il loro formato di scambio. A questo punto, chiarito che il BIM è essenzialmente un concetto legato ai processi e vista la moltitudine di strumenti disponibili per l'attuazione degli stessi, è evidente come per l'applicazione di una metodologia di progettazione e modellazione ottimizzate sia necessario porre attenzione alle possibilità che ogni singolo software offre in merito alla condivisione e allo scambio dei dati senza il rischio di perdita di informazioni. Ciò è possibile verificarlo ed ottenerlo solo se i formati di scambio coincidono e cioè, che ci sia "interoperabilità", intesa come possibilità di scambiare in maniera del tutto automatica e senza perdita le informazioni e i dati tra le diverse applicazioni per poter permettere a ciascun professionista di continuare a lavorare col proprio software, purché condivida un formato di scambio standard accessibile a tutti da un unico database.

3.3 Strumenti per l'analisi energetica in ambiente BIM

Molteplici strumenti e applicativi sono stati sviluppati per permettere di effettuare analisi energetiche in ambiente BIM con differenti output e livelli d'interoperabilità, ottimizzando notevolmente il processo di progettazione integrata verso standard Zero Energy Buildings (ZEB) con riduzione del costo dell'intero ciclo di vita e miglioramento del livello qualitativo. Si parla sempre più di frequente di BEM (Building Energy Modeling), ovvero l'uso del BIM, relativamente agli aspetti energetici. I vantaggi di tale processo sono molteplici, sia per gli edifici di nuova costruzione che nei progetti di riqualificazione energetica dell'esistente. Attività di ricerca precedenti [13], hanno sottolineato come l'integrazione della simulazione energetica dell'edificio in un flusso di lavoro basato sul BIM contribuirà a rimuovere la **configurazione manuale del modello energetico che richiede più tempo ed è soggetta a errori**, lasciando spazio per un uso più ampio della simulazione energetica dell'edificio durante l'intera fase di progettazione e oltre. In più ha il potenziale per fornire **documentazione e standardizzazione del modello di simulazione delle prestazioni energetiche**, aspetti fondamentali, questi ultimi, non solo in progetti del nuovo, ma soprattutto nell'ambito della riqualificazione energetica dell'esistente, dove il BIM ha il potenziale di rendere più facilmente disponibile e consultabile tutta la documentazione raccolta relativamente a un edificio durante il processo di audit.

La U.S. General Services Administration, nella sua guida al BIM [6] per le analisi energetiche del 2015, ha sottolineato come l'uso della modellazione energetica basata sul BIM offre numerosi vantaggi, tra cui: **analisi delle prestazioni energetiche più accurate e complete nelle prime fasi di progettazione**, analisi migliorata dei costi del ciclo di vita (LCC) e maggiori opportunità per monitorare le prestazioni effettive dell'edificio durante la fase operativa.

Numerose ricerche si sono concentrate sull'analisi delle possibilità del BIM e dei software per il BEM nell'ambito della progettazione del nuovo, sottolineando come tra i numerosi vantaggi legati a questo tipo di approccio di tipo parametrico e *performance-based* vi sia la possibilità di effettuare le **analisi delle prestazioni energetiche più accurate e complete nelle prime fasi di progettazione**. Infatti la possibilità, di verificare immediatamente, almeno in via qualitativa, direttamente sul modello tridimensionale e ancor prima di costruire modelli energetici specifici, le ricadute energetiche di differenti scelte progettuali, è un vantaggio fondamentale nell'ottica della realizzazione di edifici più efficienti dal punto di vista energetico.

Nel processo "tradizionale", infatti, a differenza che nel processo "collaborativo" BIM, la progettazione energetica è realizzata da parte di un tecnico terzo solo dopo che il progetto architettonico è definito, con la creazione di un modello energetico indipendente con uno specifico software di simulazione nel quale vengono introdotte manualmente le informazioni ricavate dalla documentazione a disposizione.

Il processo collaborativo BIM dà invece la possibilità di esplorare in maniera contestuale, rapida e dettagliata, differenti alternative progettuali e le loro ricadute in termini di prestazioni energetiche, permettendo così una progettazione più consapevole e informata.

Vale la pena inoltre sottolineare che scelte fondamentali per il comportamento energetico di un edificio – come ad esempio forma e orientamento – vengono fatte proprio all'inizio della progettazione: come è stato più volte dimostrato (vedasi, ad es., [14]), prima vengono eseguite le simulazioni energetiche nel processo di progettazione, maggiori sono i risparmi energetici ottenibili nell'edificio.

Abanda et al. nel 2016 [15], infatti, hanno dimostrato come sia possibile, sin dalle fasi iniziali di progettazione di un edificio, studiare speditamente ed efficacemente attraverso il BIM gli impatti dell'orientamento di un edificio sui suoi consumi energetici. Il perfetto orientamento può essere quindi facilmente individuato, massimizzando i potenziali risparmi in fase operativa.

I vantaggi già citati nell'ambito dei progetti di nuova costruzione valgono anche per i casi di riqualificazione energetica, con i dovuti *distinguo*. Nell'ambito della **riqualificazione energetica**, un aspetto fondamentale è la conoscenza e modellazione dettagliata dell'esistente anche sul piano delle prestazioni energetiche. Dopo aver rilevato, raccolto e/o acquisito tutte le informazioni necessarie per la realizzazione della diagnosi energetica di un edificio, si passa infatti alla fase di modellazione e simulazione energetica dello stesso.

Realizzare il modello energetico significa, in maniera non esaustiva:

- assegnare tutte le proprietà termo-fisiche ai materiali costituenti l'involucro (ossia le superfici delimitanti un locale climatizzato verso uno non climatizzato);
- definire zone e locali termici;
- definire le caratteristiche degli impianti;
- individuare i profili di utilizzo dell'edificio (occupazione dell'edificio, orari di accensione degli impianti).

Com'è noto nella diagnosi, ci si rifà ai profili di occupazione e di utilizzo reali dell'edificio. Per questa ragione, **il modello dev'essere validato**, ossia i consumi simulati sulla base dell'utilizzo reale dell'edificio non devono scostarsi in maniera significativa da quelli misurati nelle bollette. Infatti, una corretta comprensione e conoscenza delle prestazioni energetiche dell'edificio allo stato di fatto è essenziale per stabilire le priorità delle misure di retrofit da attuare e valutarle in maniera quanto più realistica possibile.

Per ciascuna zona dell'edificio verranno calcolati, ove previsto, i fabbisogni di:

- energia termica per riscaldamento o raffrescamento;
- energia per la produzione di acqua calda sanitaria;
- energia per ventilazione meccanica;
- energia per illuminazione;
- energia per trasporto cose e persone.

Dopo aver analizzato nel dettaglio le caratteristiche dell'involucro e degli impianti esistenti e aver verificato la correttezza delle valutazioni fatte a partire dal modello energetico, è possibile individuare gli aspetti più critici dell'edificio, sui quali è opportuno **intervenire per migliorare la prestazione energetica**.

Le Linee Guida ENEA per le diagnosi energetiche negli edifici pubblici [8] suddividono gli interventi migliorativi nelle seguenti categorie, citando anche alcuni esempi:

- **Interventi sull'involucro** (coibentazione pareti perimetrali, coibentazione copertura, coibentazione solaio di terra, sostituzione infissi, ecc...);
- **Interventi sugli impianti meccanici** (sostituzione caldaia tradizionale con caldaia a condensazione, installazione valvole termostatiche sui radiatori, Building Automation and Control System, ecc...);
- **Interventi sugli impianti elettrici** (sostituzione delle pompe con nuove versioni ad alta efficienza azionate da inverter, sostituzione dei corpi illuminanti con lampade LED, installazione di sensori di presenza nei WC, ecc...);
- **Sistemi di monitoraggio dei consumi;**
- **Utilizzo di fonti rinnovabili** (impianto fotovoltaico, solare termico, ecc...).

La valutazione degli interventi migliorativi passa per la simulazione degli stessi, analizzati singolarmente o in maniera combinata – se interferenti –, attraverso un software per l'analisi energetica.

Relativamente al calcolo della prestazione energetica degli edifici, si può utilizzare un metodo quasi stazionario che prevede calcoli semplificati su base mensile che, in Italia, fa riferimento alle norme tecniche UNI/TS 11300 [16]. A marzo 2018, è stato inoltre introdotto in Italia con la UNI EN ISO 52016 [17] (che sostituisce la precedente UNI EN ISO 13790 [18]), un metodo di calcolo dinamico orario che i tecnici possono decidere di utilizzare per una valutazione più accurata delle prestazioni energetiche dell'edificio, che tiene conto dell'effettivo tempo di funzionamento dell'impianto, della variabilità delle condizioni di occupazione e di quelle al contorno durante la giornata (temperatura esterna, irraggiamento, ...).

I risparmi energetici calcolati per ciascun intervento vengono poi analizzati sotto il profilo costi-benefici, allo scopo di fornire una guida al committente/proprietario dell'edificio nella scelta degli interventi.

Per la modellazione energetica dell'edificio, la validazione del modello e la definizione degli interventi migliorativi, sono disponibili molti strumenti software.

Allo scopo di fornire un quadro della situazione italiana, in questo paragrafo si analizzeranno nel dettaglio i software italiani per analisi energetiche, che rispondono alle normative tecniche italiane per l'analisi delle prestazioni energetiche degli edifici e per i quali è stato avviato un processo di integrazione/introduzione, più o meno profonda, all'interno del processo BIM.

3.3.1 Software per il BEM

Prima di passare in rassegna più nel dettaglio i software italiani per le analisi energetiche in ambiente BIM, vale la pena citare alcuni lavori in letteratura che hanno valutato le prestazioni, le criticità ed anche confrontato fra loro software per l'analisi energetica in ambiente BIM.

In Reeves et al. (2015) [5] si sono, ad esempio, sviluppate delle linee guida per la valutazione e la selezione di software per il BEM (modellazione energetica), a seconda della specifica fase del ciclo di vita di un edificio, a partire da un'analisi multi-criterio dei software esistenti. Sono stati individuati 12 software² che sono stati studiati secondo un set di criteri facenti capo a 4 categorie principali (interoperabilità, utilizzabilità, input e output disponibili). I 3 software con il maggior punteggio sono stati poi analizzati nel dettaglio attraverso due casi studio. L'obiettivo del lavoro è stato quello di individuare criticità e problematiche, ma soprattutto di fornire una guida per i progettisti nella scelta di un software sulla base delle esigenze di ciascuno studio di progettazione e di ciascun progetto.

In Sanhudo et al. (2018) [9], è stata portata avanti una review dei lavori che in letteratura hanno valutato le differenti possibili applicazioni per strumenti software per l'analisi energetica (dallo studio della ventilazione naturale a quello dei tetti verdi, dall'analisi del daylighting al Building integrated Photovoltaics - BIPV), con particolare attenzione verso gli aspetti del BIM. Numerosi software e molti scenari differenti sono stati approfonditi: come si può vedere dal grafico di sintesi riportato qui sotto, EnergyPlus risulta non solo il software più ricorrente nelle differenti analisi energetiche presenti in letteratura, ma anche uno di quelli con la più vasta applicabilità. I formati di file supportati da tali software più ricorrenti sono gbXML e IFC.

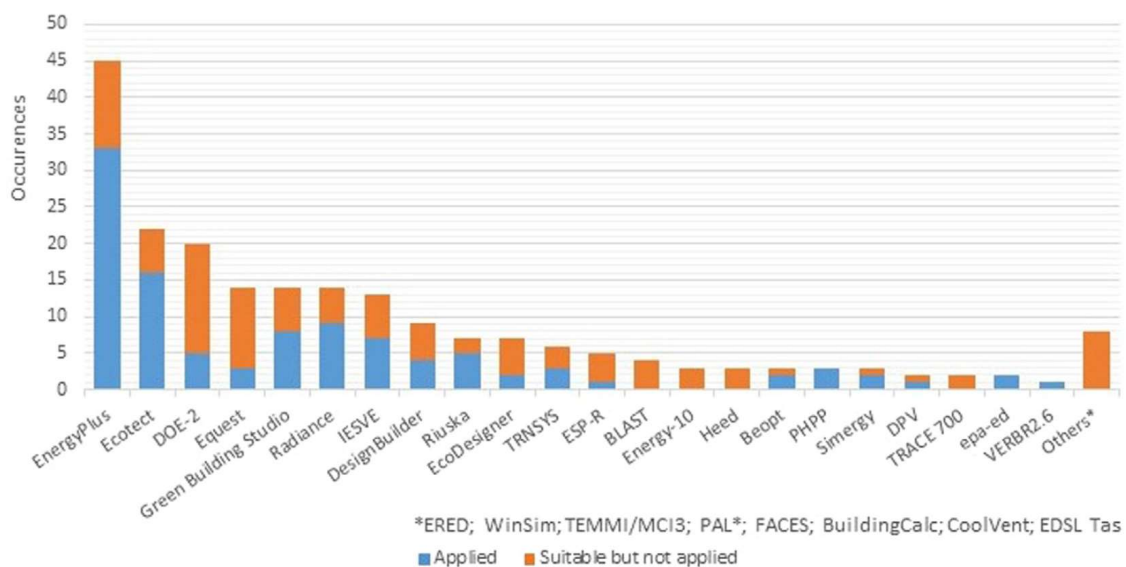


Figura 8: Strumenti per l'analisi energetica contenuti nella review di Sanhudo et al. (2018)

In entrambi i lavori su citati, il tema dell'interoperabilità – ossia della capacità di due o più software energetica di comunicare e scambiare informazioni e contenuti fra loro – risulta un aspetto centrale. L'interazione tra software di authoring e software di analisi energetica non è infatti ancora perfettamente risolta e, pur con l'utilizzo di formati open e certificati come l'IFC, si possono riscontrare problemi nel trasferimento di informazioni fra modello architettonico e modello energetico, sia in entrata sia in uscita, relativamente a: proprietà dei materiali, geometrie, schedule di utilizzo degli edifici, dati relativi agli impianti degli edifici.

² Graphisoft EcoDesigner, Bentley Tas Simulator V8i, Bentley Hevacomp Simulator V8i, Autodesk Ecotect, Autodesk Green Building Studio, IES VE, DesignBuilder, Visual DOE 4.0, Energy10, EnergyPlus, eQuest and HEED

In tal senso è molto interessante il lavoro portato avanti in [19] per la realizzazione di un *work flow* atto alla predisposizione di file IFC di elevata qualità e completezza per la simulazione delle prestazioni energetiche di un edificio. Il processo prevede differenti fasi di controllo del modello (*model-check*) sia per quanto concerne le informazioni geometriche che per quanto attiene alla completezza dei dati in esso contenuti. Sono inoltre fornite delle linee guida per la predisposizione dei dati da inserire nel modello e la successiva esportazione, il tutto in ambito interoperabile IFC. Tale lavoro sarà tenuto in considerazione nelle fasi successive della linea di ricerca, quando ci si approccerà a un caso studio reale per l'elaborazione delle Linee Guida per la Diagnosi Energetica in ambiente BIM.

Infine vale la pena citare la pubblicazione [13] che, descrivendo le questioni relative all'interoperabilità fra software authoring BIM e software per l'analisi energetica, ha definito tre differenti approcci possibili, corredandoli di esempi pratici.

1) **Catena di tool/ proprietari** (Proprietary tool-chain):

Questa strategia si basa sull'utilizzo di software proprietari per eseguire lo scambio di dati fra il modello BIM e il software di simulazione energetica. Non si può parlare di vera interoperabilità, in questo caso, perché la condizione necessaria è il possesso da parte di tutti i professionisti coinvolti in un determinato progetto, di software proprietari specifici. Un vantaggio può essere sicuramente legato alla perfetta compatibilità e al perfetto scambio di informazioni fra i software, garantendo la possibilità di creazione di *work flow* ben integrabili.

2) **Tool di intermediazione** (Middleware tool):

Questa strategia prevede l'utilizzo di modelli di dati interoperabili e pubblicamente disponibili, quali IFC e gbXML, e si basa sull'utilizzo di cosiddetti middleware, software di "intermediazione" (come plug in o strumenti di "traduzione") in grado di controllare le informazioni estratte dai modelli BIM, rettificarle ed arricchirle di tutti dati utili ai fini delle analisi energetiche. Il difetto di questo metodo è legato alla necessità di affidarsi ad un'altra fonte di dati (rispetto al modello BIM) per le informazioni sull'edificio, con conseguenti possibilità di duplicazione di dati, non aggiornamento degli stessi ed errori. L'idea di base del Building Information Modelling è, invece, che le informazioni su di un edificio, lungo tutto il suo arco di vita, siano contenute all'interno di una unica piattaforma interoperabile.

3) **Requisiti per lo scambio di informazioni** (Exchange requirement)

Questa strategia punta a fare del modello BIM il contenitore di tutte informazioni richieste per i vari usi, tra le quali quelle per le analisi energetiche di un determinato edificio; in altre parole, punta ad estendere le possibilità dei file IFC in modo da renderli in grado di soddisfare i requisiti di scambio di dati nell'ottica delle analisi energetiche. Non appoggiandosi a specifici strumenti o formati proprietari, ma puntando a rendere i modelli BIM esportati in IFC compatibili con i requisiti di scambio di informazioni per l'analisi energetica, questo approccio risulta il più flessibile e interoperabile di tutti.

Non esiste una soluzione perfetta per ogni situazione ma l'interoperabilità piena è soprattutto garantita da un approccio come il terzo dei tre su definiti, concentrato sulle informazioni richieste all'interno del modello BIM e non sui software che si utilizzano per creare e modificare un modello BIM. In tale ottica, vale la pena sottolineare il lavoro di standardizzazione tecnica e normativa che gli enti di normazione e armonizzazione stanno portando avanti, ai fini della massimizzazione dell'interoperabilità del BIM.

3.3.2 Software italiani per Analisi Energetiche in ambiente BIM

Ai sensi dell'art.7 del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2015 *“Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”*, il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) svolge un'attività di verifica dei software commerciali e degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici. Sul sito del CTI è presente un elenco degli applicativi informatici – aggiornato periodicamente – che sono stati sottoposti a verifica e certificati da parte del CTI, ai sensi del regolamento nazionale, a garanzia di rispondenza ai requisiti fissati e alle normative tecniche [20].

Allo scopo di fornire un quadro di riferimento sul piano nazionale, per l'analisi dei software italiani per Diagnosi Energetiche in ambiente BIM, si sono presi in considerazione i software facenti parte dell'elenco su citato, riportato anche qui di seguito.

Produttore	Denominazione	Metodo semplificato	Protocollo	Versione protocollata	Certificato	Versione validata	Note
Blumatica S.r.l.	Blumatica Energy	No	n. 69 (29/06/2016)	6.2.0.0	n. 64 (15/03/2017)	6.2.0.15	-
Logical Soft S.r.l.	Termolog EpiX	No	n. 70 (29/06/2016)	7 rel. 2016.11	n. 65 (15/03/2017)	7 rel. 2016.43	-
Namirial S.p.A.	Namirial Termo	No	n. 71 (29/06/2016)	4.0.0.300	n. 66 (15/03/2017)	4.1.3	-
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 72 (29/06/2016)	40.00	n. 67 (15/03/2017)	40.00m	-
Analist Group S.r.l.	TermiPlan	No	n. 73 (29/06/2016)	2017 – 6.0	n. 68 (15/03/2017)	2017 - 6.1.3	-
Italsoft Group S.r.l.	Termiko One	No	n. 74 (29/06/2016)	2.0	n. 69 (15/03/2017)	2.1.3	-
Cype Ingenieros S.A.	Cypetherm C.E.	No	n. 75 (29/06/2016)	2017.a	n. 70 (15/03/2017)	2017.h	-
Geo Network S.r.l.	Euclide Certificazione Energetica	No	n. 76 (29/06/2016)	8.01	n. 71 (15/03/2017)	8.01p	-
Mc4Software Italia S.r.l.	Mc4 Suite	No	n. 77 (29/06/2016)	2017 rel.1.0	n. 72 (15/03/2017)	2017 rel. 1.05	-
Topoprogram & Service di Giuseppe Mangione & C. sas	Energetika 2000	No	n. 78 (29/06/2016)	14.00	n. 76 (03/07/2017)	14.00.018	-
Edilclima S.r.l.	EC 700 calcolo prestazioni energetiche degli edifici	No	n. 79 (01/07/2016)	7.0.0	n. 73 (15/03/2017)	7.2.0	-
Watts Industries Italia S.r.l.	Stima10/TFM	No	n. 80 (01/07/2016)	10.0	n. 74 (15/03/2017)	10.0.03	-
Mc4Software Italia S.r.l.	www.ape-online.it	No	n. 81 (01/07/2016)	3.0	n. 77 (03/07/2017)	3.1	-
Aermec S.p.A.	Masterclima MC 11300	No	n. 82 (05/07/2016)	3.00	n. 75 (15/03/2017)	3.09	-
ENEA e ITC-CNR	DOCET	Si	n. 83 (14/07/2016)	3.16.06.47	n. 78 (12/04/2018)	3.16.06.47	-
ing. S. Daniele Alberti e ing. Antonio Mazzon	Lex10 Professional	No	n. 84 (19/07/2016)	8.00.0010	n. 79 (03/07/2017)	8.05.0100	-
Tep s.r.l.	Leto	No	n. 85 (19/07/2016)	4.0.0.4	n. 80 (03/07/2017)	4.0.2.5	-
Mc4Software Italia S.r.l.	Celeste	No	n. 86 (06/12/2016)	3.0	n. 81 (03/07/2017)	3.0	-
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 87 (26/06/2018)	50.00a BIM	N. 82 (11/10/2018)	50.00d BIM	-

Tabella 2: Lista degli applicativi certificati dal CTI

Attraverso un'analisi di ciascuno degli applicativi su indicati [21]-[37] secondo alcuni criteri predefiniti, sono stati individuati sei software che hanno avviato un processo di integrazione/introduzione, più o meno profonda, all'interno del processo BIM. I criteri secondo i quali è stata condotta tale analisi sono definiti in dettaglio nella tabella riportata di seguito.

ASPETTI BIM-RELATED	
NOME CRITERIO	DESCRIZIONE CRITERIO
Importazione IFC	Vi è la possibilità di importare il modello BIM (esportato come file IFC) creato all'interno di un software di authoring. Questo significa che le informazioni grafiche e non grafiche contenute all'interno del modello potranno essere in tutto o in parte e in maniera più o meno "automatica", lette e/o utilizzate all'interno del software di analisi energetica.
Modellazione IFC	Vi è la possibilità di produrre oggetti BIM, il modello geometrico ed energetico elaborato all'interno del software sotto forma di file IFC. Questo significa che i modelli importati potranno non soltanto essere letti, ma modificati nella geometria e nelle caratteristiche. Alcuni software per il BEM, infatti, si possono limitare ad effettuare analisi energetiche su modelli in tutto e per tutto definiti in termini di geometria e materiali, ma non possono apportare modifiche e stimare le ricadute di eventuali scelte progettuali in termini di prestazioni energetiche.
Esportazione IFC	Vi è la possibilità di esportare sotto forma di file IFC il modello "geometrico" ed energetico elaborato all'interno del software. Questo significa che il modello, provvisto di tutte le informazioni grafiche e non grafiche ad esso associate, potrà essere consultato e interrogato con un visualizzatore BIM non proprietario e/o importato per ulteriori studi in altri software che supportano l'importazione IFC³.
Certificazione BuildingSMART International (BSi)	Il programma di certificazione software buildingSMART fornisce la convalida per l'implementazione di standard e soluzioni basate su Industry Foundation Classes (IFC). Questo servizio aiuta i produttori di software a garantire che gli scambi di dati IFC siano coerenti e di qualità affidabile. Le certificazioni per ciascun indirizzo richiedono requisiti di funzionalità specifici dell'utente finale. Ad esempio, lo scambio di dati per scopi di progettazione architettonica. La certificazione è volontaria ed è uno strumento di garanzia della qualità del processo di importazione o esportazione di IFC, per i quali sono richieste due distinte certificazioni, nonché di trasparenza. Infatti, report dettagliati con tutte le verifiche effettuate nell'ambito del processo di certificazione BSi possono essere consultati al link: http://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/certified-software/.
ASPETTI ENERGETICI	

³ La qualità del file esportato non sarà oggetto di valutazione né lo sarà la compatibilità con altri software del modello esportato.

NOME CRITERIO	DESCRIZIONE CRITERIO
Simulazioni dinamiche orarie (UNI EN ISO 52016)	Il programma permette un'analisi energetica dell'edificio secondo il metodo dinamico orario introdotto dalla norma UNI EN ISO 52016:2017. Rispetto al metodo mensile contenuto nelle UNI TS 11300, tale metodo basato su intervalli di calcolo orari permette di comprendere con una maggiore precisione il comportamento di un edificio. L'adozione di tale metodo, raccomandata nella riedizione della EPBD (direttiva 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica), non è ancora obbligatoria a livello nazionale. Per questa ragione, solo alcuni software hanno implementato tale tipo di calcolo, comunque fondamentale per una progettazione e un'analisi più puntuale delle prestazioni energetiche di un edificio.
Simulazioni dinamiche	Il software consente un calcolo in regime dinamico, ma questo viene effettuato secondo altri metodi non riconducibili allo standard UNI EN ISO 52016.
Aggiornamento normativo	I software risultano aggiornati per quanto concerne: - le FAQ del MISE (12/2018)⁴; - la UNI/TS 11300:2019-2.
Diagnosi Energetica	Il software permette la valutazione energetica adattata all'utenza (tailored rating) secondo le indicazioni della norma UNI CEI EN 16247-2 (Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici). In altre parole, esso consente di valutare l'edificio reale, tenendo in considerazione delle condizioni d'utilizzo e dei dati climatici reali in funzione dello scopo (anche con il supporto, ad es., delle bollette degli ultimi 3 anni almeno e di eventuali misurazioni in loco). Gli obiettivi sono l'ottimizzazione, la validazione e la programmazione di interventi di riqualificazione
Analisi delle bollette	Il software consente di caricare i consumi e le spese da bolletta relativi ai vari servizi energetici, supportando il tecnico che effettua la diagnosi nella visualizzazione e nell'analisi dei dati, nel confronto con i dati del modello energetico realizzato per un'eventuale ricalibrazione e per la validazione dello stesso.
Verifiche CAM	Il software permette di effettuare le verifiche relative ai Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'Edilizia. Il D.Lgs. 50/2016 e s.m.i. ha infatti introdotto con l'art. 34 l'obbligo di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi per l'Edilizia, poi definiti nel D.M. Ambiente 11 ottobre 2017 (<i>Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione, manutenzione</i>).

⁴ Le risposte alle FAQ sui DM dei 26 giugno 2015 relativi ai requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e alla redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica, sono state predisposte dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), con il supporto tecnico di ENEA e CTI e i contenuti sono stati oggetto di confronto con le principali associazioni di categoria del settore.

	I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. La loro applicazione sistematica ed omogenea consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti preferibili dal punto di vista dell'impatto sull'ambiente e produce un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione. L'approccio multidisciplinare della modellazione BIM permette di gestire le differenti "dimensioni" di un progetto: da quelle prettamente grafiche e geometriche a quelle economiche, temporali, ambientali (3D, 4D...): in tal senso, i programmi BEM che contengono anche informazioni sui requisiti di sostenibilità ambientale dei materiali e dei processi utilizzati risultano di grandissimo aiuto anche per gli aspetti connessi ai CAM e all'LCA.
--	---

Tabella 3: I criteri dell'analisi software

Per garantire una valutazione quanto più oggettiva possibile, i criteri scelti per l'analisi dei software italiani per Diagnosi Energetiche in ambiente BIM sono dei parametri oggettivi. Non è stato assegnato alcun punteggio per un'analisi comparativa o numerica, ma è stata semplicemente valutata la presenza o meno di una determinata funzionalità.

La valutazione comparativa dei diversi software non rientra infatti fra gli obiettivi di tale lavoro: lo scopo è piuttosto l'analisi dello stato attuale, in relazione alle tematiche del BIM e della diagnosi energetica, dei software italiani certificati dal CTI per l'analisi energetica secondo le prescrizioni della normativa nazionale. Lo studio si è basato su dati di letteratura, sui dati dichiarati dalle stesse case software nonché basandosi sull'esperienza di utilizzo degli stessi.

Di seguito è riportata la tabella di sintesi con uno studio dettagliato dei 6 software per i quali è stato avviato un processo di integrazione/introduzione, più o meno profonda, all'interno del processo BIM. La Tabella di analisi completa è riportata in Appendice [9]. La tabella fornisce un'analisi generale, senza nominare o fare riferimento specifico alle denominazioni commerciali dei singoli software.

INFORMAZIONI GENERALI			A. ASPETTI BIM-RELATED				B. ASPETTI ENERGETICI									
Modalità di definizione edifici e geometrie e caricamento dati			Altre informazioni utili			Alcune Specifiche			Simulazioni dinamiche orarie (UNI EN ISO 52016)							
									Altri metodi di calcolo dinamico							Aggiornamento normativo
			Importazione IFC	Modellazione IFC	Esportazione IFC	Certificazione Bsi	A.1	A.2	A.3	A.4	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6
1	Importazione BIM da file .IFC, modellazione BIM, importazione CAD (.dxf, .dwg) oppure input tabellare	-	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
2	Importazione BIM da file .IFC, modellazione BIM, importazione CAD (.dxf, .dwg) oppure input tabellare	Input 3D e libreria di oggetti BIM per un controllo dinamico delle performance (orientamenti, ombreggiamenti, ponti termici, computo). Collaborazione in cloud per gestire il progetto nel processo BIM.	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Si	No	No	Si
3	Importazione "automatica" IFC attraverso plugin dedicato per Revit e aggiornamento automatico dei file IFC modificati su Revit e delle relative impostazioni; importazione IFC, dxf, dwg e input grafico con vista 3D	Il plug-in consente di specificare in pochi passaggi tutti i dati necessari per la caratterizzazione termica dell'edificio, disegnato mediante Autodesk Revit: dati generali, verifica termoisolometrica, e della massa superficiale, caratteristiche termiche in regime dinamico, ponti termici e trasmittanze infissi, ombreggiamenti	Si	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	No	Si
4	Importazione BIM da file .IFC attraverso un applicativo specifico. In grado di importare qualsiasi file IFC, visualizzarne ed analizzarne il modello 3D e operare tutte le modifiche necessarie per preparare il modello per l'analisi energetica. Il modello viene, quindi, convertito in automatico in modo da poter essere elaborato ed eventualmente modificato con gli usuali strumenti di analisi energetica. Importazione e modellazione CAD (.dxf, .dwg) oppure input tabellare	- Vani e zone - Associazione proprietà fisiche alle entità del modello BIM - Collegamento dinamico	Si	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	Si	Si	No	No
5	Importazione, modellazione ed esportazione IFC attraverso l'utilizzo di una applicazione grtuita sviluppata per la realizzazione e il mantenimento di modelli IFC di edifici (IFC Builder); possibile anche integrazione con Revit tramite plugin; grande attenzione sui temi dell'OpenBIM.	è un applicativo integrato nel flusso di lavoro Open BIM mediante lo standard IFC (IFC Builder/Complemento OpenBIM per Revit)	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No
6	Consente importazione solo da Revit.	Plugin per Revit: Calcolo energetico degli edifici in ambiente Revit; arricchisce i componenti BIM dell'edificio con le informazioni relative alle caratteristiche energetiche e integra in Revit i comandi per APE e verifiche, calcolo potenze, Diagnosi, ripartizioni	Si	No	No	No	Si	No	No	Si	No	Si	No	Si	No	No

Tabella 4: Tabella di dettaglio

Tutti e 6 i software consentono almeno l'importazione IFC, anche se, ad esempio, in un caso questa è subordinata all'utilizzo di uno specifico software di authoring a scapito della piena interoperabilità. In un altro caso, un applicativo per la importazione, la modifica e l'esportazione di file IFC, prodotto dalla medesima casa software e certificato Building Smart international, è abbinato al software per l'analisi energetica allo scopo di predisporre i modelli BIM da importarvi.

Solo 3 software su 6 consentono la modellazione e solo in 3 casi è possibile anche l'esportazione IFC⁵. C'è comunque da sottolineare che, sia tramite sistemi CAD integrati sia attraverso l'integrazione con altri software o l'utilizzo di plugin, quasi tutte le case software prese in esame stanno cominciando a dotarsi di strumenti per la lettura e la "modifica" di file IFC in ottica OpenBIM.

Per quando riguarda, invece, i criteri più prettamente "energetici" per la valutazione dei software certificati dal CTI, a parte in un caso, i software più "avanzati" in ottica BIM sono tutti in grado di fornire la possibilità di realizzare diagnosi energetiche, offrendo anche una buona quantità di funzionalità per lo studio delle prestazioni degli edifici⁶.

Passando a un'analisi più di dettaglio, uno dei software analizzati è caratterizzato da un plugin, creato per operare con uno specifico software di modellazione che s'installa direttamente all'interno del programma e legge i dati contenuti all'interno dei modelli architettonici.

Questi possono essere poi trasferiti all'interno del programma per l'analisi energetica dell'edificio. La lettura dei dati avviene grazie all'utilizzo di locali e vani termici che permettono di individuare le superfici disperdenti.

Ombreggiamenti e ponti termici possono essere inseriti selezionando, all'interno del modello, gli elementi su cui essi insistono: fra le proprietà dell'elemento selezionato, raggruppate sotto analisi energetica, sarà quindi possibile dare un nome per l'ombreggiamento o il ponte termico presente.

Utilizzando il plugin e attraverso la compilazione manuale di maschere potranno definirsi:

- **Zone termiche e locali:** nello specifico software di modellazione, è possibile impostare la suddivisione dei locali raggruppandoli in zone climatizzate, attraverso il plugin è possibile creare zone ed associarle automaticamente a quelle già presenti;
- **Descrizione edificio e ubicazione geografica;**
- **Materiali:** associazione fra materiali dello specifico software di modellazione e quelli dell'archivio del software per la modellazione energetica;
- **Verifica stratigrafie,** anche dal punto di vista termo-igrometrico;
- **Trasmittanza lineica ponti termici.**

Infine, sarà possibile visualizzare strutture disperdenti ed avere delle prime informazioni sulle prestazioni del fabbricato (ombreggiamenti e ponti termici inclusi).

Un file che già presenta delle prime caratterizzazioni di natura termica ed energetica può essere così esportato per un utilizzo sul software di simulazione energetica e successivamente aggiornato, in base alle scelte progettuali effettuate in fase di progetto architettonico.

L'importazione di file IFC è possibile in questo software, ma tutte le "semplificazioni" possibili grazie al plugin sono abbinate all'utilizzo di uno specifico software di authoring. La procedura rimane ancora in buona parte manuale.

Non si tratta pertanto dell'interoperabilità piena, propria dell'approccio OpenBIM: i tecnici che modellano con altri software rispetto al software di modellazione proprietario per cui il plugin è stato progettato non

⁵ Ai fini di questa valutazione, quando modellazione ed esportazione sono possibili solo attraverso l'utilizzo di altri software, per quanto integrati con lo strumento per le analisi energetiche in esame, si è deciso di valutare negativamente il parametro corrispondente.

⁶ I software che permettono la sola certificazione energetica (APE) molto spesso, infatti, permettono solo un input tabellare, risultano molto semplificati – permettendo inoltre il lavoro solo su progetti molto semplici o sui quali non sono necessari studi approfonditi – nonché meno aggiornati.

potrebbero quindi usufruire di tale semplificazione. Inoltre, è vero che la logica dei plugin implementati per la soluzione di problematiche specifiche (strutturali, energetiche, gestionali...) e per la massima integrazione con software proprietari (generalmente quelli particolarmente diffusi) permette di ridurre gli errori e di facilitare la comunicazione fra i software stessi, ma al contempo può essere non conveniente per le case software stesse. Basti pensare alle problematiche connesse all'obbligo di riscrittura del plugin a séguito di un aggiornamento del software (proprietario) su cui esso è stato progettato. Tale approccio "chiuso" è quello che la logica della standardizzazione e dell'OpenBIM sta cercando di superare.

Un approccio interessante in tale direzione è stato adottato da alcune delle case software prese in esame in questo paragrafo.

Una di queste, in particolare, ha realizzato una gamma di software fra loro interconnessi in grado di supportare architetti, ingegneri, imprese di costruzione, installatori nei più svariati ambiti dell'edilizia (progettazione architettonica, analisi e certificazioni energetiche, calcolo strutturale, progettazione impiantistica, aspetti di sicurezza e gestione del cantiere). Fra questi è anche presente un programma proprietario di authoring per la modellazione in ambiente BIM e una piattaforma collaborativa in cloud che consente di integrare il modello energetico nel processo BIM.

Non si tratta, tuttavia, di un sistema chiuso: il modello creato nel software di authoring può essere esportato sotto forma di file IFC e importato non solo all'interno di uno dei vari tool sviluppati della stessa casa software, ma anche in altri programmi per le verifiche e gli approfondimenti progettuali specifici eventualmente necessari. Questo è possibile perché l'intero processo si basa standard internazionali con formato dati di tipo aperto non proprietario.

Un altro software che è stato analizzato permette tre diverse opzioni per l'importazione di modelli tridimensionali BIM per la successiva analisi energetica, con riferimento a geometria, stratigrafia e materiali costituenti l'edificio.

- 1) Il primo approccio prevede la definizione di materiali e stratigrafie già nel software di *authoring* e **l'importazione automatica di geometria e proprietà termofisiche dei materiali** nel software per l'analisi energetica. Le proprietà di questi saranno prese per buone dal software di simulazione energetica;
- 2) Il secondo approccio prevede **l'associazione semi-manuale, all'atto dell'importazione, dei materiali** dell'archivio del software di analisi energetica ai componenti e alle stratigrafie definiti nel programma di *authoring*: sono necessarie delle cautele in fase di definizione dei materiali, ossia a ciascuno dei materiali nel programma di *authoring* va assegnato un nome definito da associare al corrispondente materiale della libreria del BEM tool. Stratigrafie e geometrie vengono a quel punto associate e importate automaticamente;
- 3) Il terzo approccio prevede **l'associazione automatica delle proprietà termofisiche dei materiali e delle stratigrafie**, previa definizione dei componenti costituenti l'involucro dell'edificio nel software di analisi energetica: l'associazione si baserà sullo spessore e sulla tipologia degli elementi (ad es. una parete esterna di 30 cm del modello BIM importato sarà automaticamente associata alla parete di 30 cm definita in termini di materiali e stratigrafia all'interno del software di analisi energetica);

Anche all'interno di questo software, zone termiche e locali vanno associati manualmente.

Solo due dei software analizzati sono stati certificati BSi [39]: uno per l'importazione, l'altro per l'esportazione di modelli IFC di tipo IFC2x3 in Coordination View 2.0. Uno dei due, in particolare, è molto concentrato sul tema impiantistico.

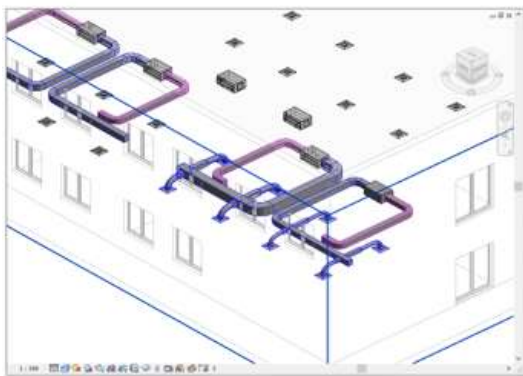
Come già sottolineato, in un'ottica di massima standardizzazione del processo BIM, la certificazione BSi è uno strumento di garanzia della qualità e della coerenza degli scambi di informazioni nei modelli IFC alla base della filosofia dell'OpenBIM. Tuttavia, si tratta di un processo molto complesso e onnicomprensivo: oltre ai differenti metodi di importazione e lettura delle geometrie, molti degli aspetti più propriamente energetici devono ancora essere ottimizzati in ambiente IFC. Questi sono stati invece già in buona parte approfonditi e risolti in ambiente gbXML, formato di file nato appositamente per le analisi energetiche, riconducibile

tuttavia a un insieme di software proprietari e molto utilizzato negli USA in quanto connesso al sistema di certificazione ambientale degli edifici LEED del Green Building Council.

I software italiani per il BEM si stanno attrezzando per l'utilizzo di file IFC, aperti e creati con il fine ultimo di un'interoperabilità piena; l'importazione di file gbXML, tuttavia, consente di non escludere un gran numero di progetti che ancora oggi sono realizzati in questo formato.

Parlando dell'interoperabilità fra software di authoring e i tool per il BEM, un problema che ad oggi si è individuato è legato alla difficoltà di importare, all'interno dei software di analisi delle prestazioni energetiche di edifici, le informazioni dettagliate relative alla progettazione impiantistica contenute nel modello MEP.

Nei software analizzati in questo paragrafo, geometria, stratigrafie e materiali possono essere importate in maniera più o meno automatica tramite l'utilizzo dell'IFC: lo stesso non può dirsi per la parte impiantistica. Una delle ragioni è sicuramente da attribuire alle differenti impostazioni e obiettivi: da un lato, i software di *authoring* per il progetto MEP si basano su oggetti tridimensionali, contengono parametri alfanumerici e servono a definire anche spazialmente le caratteristiche degli impianti meccanici; dall'altro lato, i software per il calcolo energetico si basano su una gestione dei dati impiantistici di tipo tabellare, che rispecchia in qualche modo la struttura delle norme di riferimento, proprio perché è a queste che si riferisce per la definizione di carichi termici ed elettrici, per la predisposizione delle verifiche normative e della documentazione richiesta [38].



Software di Authoring



Software di analisi energetica

Figura 9: Schermate di software a confronto BIM authoring e software italiano per l'analisi energetica (Calabrese N., 2018)

Per quanto invece riguarda le caratteristiche d'involucro, le librerie dei materiali dei software di authoring non sempre risultano fornite di tutte le caratteristiche necessarie per le analisi termiche ed energetiche dei componenti edilizi. Al tempo stesso, non sempre permettono di calcolarne correttamente le proprietà.

A titolo esemplificativo, un software di authoring analizzato nel calcolo della trasmittanza non tiene conto delle resistenze superficiali interne ed esterne, ossia dei coefficienti di scambio termico interno ed esterno che studiano gli scambi superficiali per convezione e irraggiamento che avvengono sulle superfici interna ed esterna dell'elemento d'involucro in esame [38].

Si rende quindi necessario esportare i valori delle caratteristiche termiche dei materiali che compongono le stratigrafie in modo che vengano calcolati dai software specifici secondo la normativa europea (Tabella 5: Calcolo trasmittanza termica: confronto fra calcolo di un software di authoring analizzato a sinistra e secondo la Norma UNI EN ISO 6946 a destra (Calabrese N., 2018).

VALORI TRASMITTANZA

Trasmittanza (U)	0,7031 (W/m²K)
Resistenza termica R	1,4222 (m²K/W)

NOTA:
NON TIENE CONTO DELLE RESISTENZE
SUPERFICIALI INTRENE ED ESTERNE

materiale	spessore	Conduttività		Resistenza termica	R. tot= R1+R2+R3+	Trasmittanza U = 1/R. tot
	(m)	(W/mK)		(m²K/W)	(m²K/W)	(W/m²K)
INTONACO EST.	0,02	0,7	R1	0,029		
MURATURA TUFO	0,96	0,7	R2	1,371	1,422	0,703
INTONACO INT.	0,02	0,9	R3	0,022		

CALCOLO TRASMITTANZA MURI

UNI EN ISO 6946

Prospetto 1	Flusso termico			
	Ascendente	Orizzontale	Discendente	Roma
Resistenza termica superficiale interna R _{si}	0,1	0,13	0,17	0,13
Resistenza termica superficiale interna R _{se}	0,04	0,04	0,04	0,064

materiale	spessore	Conduttività		Resistenza termica	R. tot= R1+R2+R3+Rsi+Rse	Trasmittanza U = 1/R. tot
	(m)	(W/mK)		(m²K/W)	(m²K/W)	(W/m²K)
				R _{se}	0,04	
INTONACO EST.	0,02	0,7	R1	0,029		
MURATURA TUFO	0,96	0,7	R2	1,371	1,592	0,628
INTONACO INT.	0,02	0,9	R3	0,022		
				R _{si}	0,13	

Tabella 5: Calcolo trasmittanza termica: confronto fra calcolo di un software di authoring analizzato a sinistra e secondo la Norma UNI EN ISO 6946 a destra (Calabrese N., 2018)

Non sempre, inoltre, i materiali caricati all'interno delle librerie dei software di authoring per la modellazione tridimensionale architettonica, alcuni dei quali sono stati descritti al paragrafo 3.2, sono provvisti di tutte le informazioni necessarie per il calcolo energetico. La trasmittanza termica è solo una di queste. La stessa cosa vale per i prodotti edilizi, spesso già caricati come oggetti BIM all'interno delle librerie software. In questo lavoro, nell'ambito delle Linee Guida per la Diagnosi Energetica in ambiente BIM che verranno elaborate, si cercherà anche di fornire una guida in tal senso attraverso, ad esempio, una **check-list delle proprietà termofisiche ed impiantistiche necessarie per le analisi energetiche**, anche tenendo in considerazione gli aspetti aggiuntivi richiesti per le valutazioni dinamiche ai sensi degli standard europei.

Quella dell'interoperabilità è tuttora una questione che necessita di ulteriori ottimizzazioni ed approfondimenti. I tool analizzati per il BEM sono riusciti a risolvere numerosi aspetti legati all'importazione e all'ottimizzazione del processo in vari modi, tuttavia c'è ancora molto da fare per massimizzare l'utilizzo del BIM per le analisi energetiche dell'esistente in Italia.

3.4 Certificazione dei software BuildingSMART International

BuildingSMART International è un'organizzazione no profit che opera per l'OpenBIM. Dal 2018 è impegnata a sviluppare un processo di certificazione che assicuri la correttezza dell'importazione e dell'esportazione dei propri dati IFC, con la garanzia di conformità agli standard. Questo servizio aiuta i produttori di software a verificare che gli scambi di dati IFC siano coerenti ed affidabili. Attualmente la certificazione *BuildingSMART International* è prevista per le versioni IFC2x3 (introdotto nel 2010) e IFC4 (introdotto nel 2016).

Questo processo di certificazione volontaria attribuisce al formato un'approvazione aperta e neutrale, al fine di una corretta e completa condivisione dei dati, indipendentemente dalla compatibilità o dalla versione delle diverse applicazioni software utilizzate. Lo scopo della certificazione dello standard IFC è, quindi, quello di fornire agli sviluppatori di software partecipanti una metodologia dalla qualità assicurata, una serie di strumenti e casi di test per l'esportazione e l'importazione.

Attualmente la certificazione viene rilasciata sulla base della valutazione della capacità di leggere (import) o scrivere (export) del formato IFC, la quale viene effettuata secondo due concetti: il primo è l'analisi della capacità di scambiare le informazioni di tutte le proprietà che caratterizzano una specifica famiglia di oggetti che il software ha la capacità di creare; il secondo, invece, è che il giudizio finale di tale analisi prevede tre possibili risultati: [40] scambio completamente supportato (verde), scambio parzialmente supportato (giallo), scambio non supportato (rosso) (Figura 10).

Secondo questo criterio, si considerano sia i verdi che i gialli risultati positivi, mentre i rossi come negativi. Ciò comporta che alcuni software, nonostante riescano ad ottenere la certificazione buildingSMART, non siano performanti al 100% nello scambiare dati, e possono perdere alcune informazioni durante l'importazione e l'esportazione dei modelli.

Testlist

Name test	concepts total	manually checked		
		Supported	Restricted	Not Supported
BeamColumn 04 / 2x3	47	37		10
Beam_01 / 2x3	10	9		1
Beam_02 / 2x3	12	8	1	3
Beam_03 / 2x3	6	3		3
CharsetTest-01A / 2x3	2	2		
Column 01 / 2x3	11	10		1
Column_02 / 2x3	6	4		2
CoveringFurnishing-01 / 2x3	57	42	2	13
CurtainWall-01 / 2x3	29	25		4
Door 01 / 2x3	22	20		2
DoorWindow-02 / 2x3	11	9	2	
Grid 01 / 2x3				11
Member 01A / 2x3	10	8		2
Pile 01 / 2x3	19	14	1	4
RampRailing-01 / 2x3	28	25	2	1
RandomArch-X1 / 2x3	43	42	1	
RandomArch-X2 / 2x3	54	50		4
RandomArch-X3 / 2x3	34	34		
RandomArch-X4 / 2x3	49	49		
RandomArch-X5 / 2x3	41	37		4
Roof 01 / 2x3	15	13		2
Roof 02 / 2x3	12	11	1	
Site 01 / 2x3	14	12		2
Site 02 / 2x3	13	11		2
Slab 01A / 2x3	9	9		
Slab 02A / 2x3	24	18		6

■ Supported
 ■ Restricted
 ■ Not Supported

2

Figura 10: Esempio di schermata di valutazione per il rilascio della certificazione IFC

Sul sito di BuildingSMART international [39] è riportato l'elenco dei software certificati unitamente alle relazioni sulle certificazioni di ogni singolo prodotto.

Dall'analisi dei risultati contenuti in questi report, emerge che le principali e ricorrenti criticità nell'interscambio di dati tramite il formato IFC riguardano principalmente:

- il trasferimento delle informazioni relative ai dati geometrici particolarmente complessi (ad esempio, in alcuni software analizzati da BSi, si rilevano difficoltà di importazione/esportazione di superfici curve);
- il trasferimento di componenti complessi parametrizzati, come ad esempio facciate e superfici continue;
- il trasferimento dei parametri dello standard IFC editati, impostati e personalizzati dall'utente;
- l'importazione delle librerie di materiali utilizzate nel software di authoring, in un secondo differente applicativo;
- il trasferimento di dati relativi all'aspetto dei materiali (colori, texture ecc...);
- la corretta importazione/esportazione della geometria del terreno e del contesto dell'edificio;
- il trasferimento completo di dati e di informazioni energetiche dell'edificio;
- il trasferimento dei dati relativi a caratteristiche e componenti impiantistiche dell'edificio;
- il trasferimento delle informazioni relative alla nomenclatura del progetto;
- il trasferimento di dati relativi a griglie ed interassi e layer di progetto;

L'attuale versione dell'IFC non prevede l'estensione per la parte energetica e informazioni, ad esempio sulla stratigrafia, non sono ancora state definite a livello internazionale e ciascun software ha adottato soluzioni diverse. Tali soluzioni lavorano su di una "estensione personalizzata" dell'IFC per cui risulta valida per uno scambio tra due diversi software ma non tra qualsiasi software.

3.5 Considerazioni generali

Le situazioni possibili, quando ci si approccia a una diagnosi energetica in ambiente BIM possono essere essenzialmente due. Possono essere distinte sulla base della presenza o meno del modello BIM *as built* dell'edificio, precedentemente all'avvio della modellazione energetica.

- 1) BIM as built → Diagnosi in BEM
- 2) Diagnosi e modellazione energetica in ambiente interoperabile

Nel **primo caso**, il processo prevede la **presenza del modello BIM as built dell'edificio**, creato attraverso un software di *authoring* a partire da rilievi, analisi e dall'anagrafica dell'edificio (che la prima documentazione da richiedere quando si inizia un processo di diagnosi).

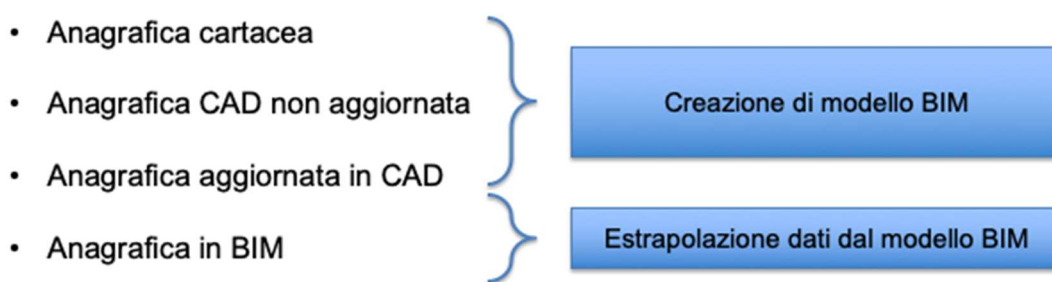


Figura 11: Anagrafica e modello BIM

La realizzazione di un modello BIM *as built*, quando l'anagrafica dell'edificio non è aggiornata o non è presente in formato digitale, è particolarmente conveniente se:

- si prevede l'utilizzo del modello per la pianificazione e realizzazione degli interventi individuati nella Diagnosi Energetica;
- si prevede l'utilizzo del modello per la futura gestione e manutenzione dell'edificio.

Nella situazione ideale, l'anagrafica in BIM dell'edificio è già presente prima dell'avvio della diagnosi. Sulla base di questa si potrà dunque iniziare più speditamente e in maniera più organizzata, il processo di modellazione, lo studio dello stato di fatto e l'analisi energetica all'interno dei tool per il BEM.

Questa prima situazione – forse, ideale – 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, un 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 associata.

Nella realtà, tuttavia, quasi mai è presente il modello BIM *as built* dell'edificio e, soprattutto, ai tecnici che effettuano le diagnosi energetiche – che spesso si trovano ad analizzare l'esistente e a dover aggiornare la documentazione (grafica e non solo) a loro disposizione – non è ad oggi richiesto di fare il lavoro aggiuntivo di realizzare con tali informazioni dettagliati modelli BIM. Tuttavia, i modelli energetici, che in molti casi si devono comunque realizzare, contengono molte informazioni di tipo geometrico, termo-fisico in relazione ai materiali dell'involucro, impiantistico, energetico, economico.

Tali informazioni, possono comunque essere associate anche in un secondo tempo al modello BIM, qualora fosse necessario in una fase successiva, purché ovviamente si utilizzino degli standard che siano indipendenti dal software proprietario che le ha generate.

Al di là dei numerosi vantaggi già descritti che lavorare in ambiente interoperabile BIM comporta, il codice degli appalti e sempre più bandi pubblici cominciano a prevedere l'obbligatorietà della **restituzione in BIM**

di diagnosi energetiche per un numero sempre crescente di edifici esistenti. Il **secondo caso (diagnosi e modellazione energetica in ambiente interoperabile)** può ricondursi proprio a questo tipo di situazioni.

Restituire in BIM una diagnosi energetica significa: predisporre un modello energetico contenente informazioni grafiche e non grafiche sull'edificio, sulla sua prestazione energetica analizzata nell'ambito della diagnosi, salvato in formato interoperabile certificato (IFC) ossia consultabile con un visualizzatore IFC (o BIM viewer) non proprietario.

Restituire in ambiente BIM la diagnosi energetica – che è anche il momento di rilievo e analisi dettagliata dell'esistente, di raccolta di informazioni sull'edificio – 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.

In entrambi i casi, è importante definire in maniera univoca le caratteristiche ed i contenuti minimi che i modelli interoperabili relativi alle diagnosi energetiche devono possedere ed è uno degli obiettivi di questa linea di ricerca nel prosieguo. Questo 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. Ad oggi, mancano proprio delle linee guida che indichino quale sia il flusso delle informazioni e quali siano i dati necessari per l'implementazione dell'uso del BIM in una diagnosi energetica.

I *workflow* di entrambi i processi su descritti saranno presi in esame.

La diagnosi energetica rappresenta un momento fondamentale per la conoscenza dello stato di fatto di un immobile esistente. Lavorando in ambiente BIM, con tutti gli accorgimenti del caso, su un cosiddetto "gemello digitale" (o digital twin) interoperabile di un edificio, essa può diventare anche il momento di partenza per tutta una serie di altre operazioni, facenti capo a software e a figure professionali differenti:

- progetto dettagliato degli interventi migliorativi e programmazione degli eventuali lavori;
- analisi energetica e analisi economica su tutto il ciclo di vita dell'edificio;
- programmazione della gestione dell'edificio e della manutenzione (a partire, ad esempio, dal tracciamento e dal monitoraggio di componenti e impianti installati).

4 Standard per l'interoperabilità nell'ambito dell'analisi energetica

L'approfondimento che segue vuole sottolineare l'importanza dell'uso degli standard internazionali che sono alla base dell'OpenBIM.

Questi standard di formati dati aperti non proprietari sono fondamentali per garantire l'**interoperabilità** tra i software e per garantire la **conservazione**, la **leggibilità** e la **reperibilità** dei dati e dei documenti informatici per l'intero ciclo di vita dell'edificio, perché non sono vincolati ad alcun applicativo software. Questo vuol dire che il lettore del file può essere scaricato gratuitamente dalla rete e che sul documento si possono inserire commenti e richieste di modifiche ma **non può essere modificato**.

Nell'acronimo "BIM" posizione preminente assume la "I" di Information. Essa rappresenta tutti i dati che definiscono l'ambiente costruito. Come abbiamo già avuto modo di dire, per attuare tutte le potenzialità del BIM e ottenere i benefici della collaborazione, il modello BIM deve essere implementato con informazioni provenienti da più discipline e più professionisti, con un approccio universale basato su flussi di lavoro, procedure e standard di tipo aperto e non proprietario, in una parola OpenBIM. Per questo il lavoro ha compreso anche lo studio degli standard esistenti per verificarne la completezza e/o le carenze quando usati per la diagnosi energetica.

Lo sviluppo delle procedure e degli standard è in continua evoluzione. A livello mondiale l'organismo a ciò deputato nell'ottica dell'OpenBIM, è **buildingSMART international (bsi)**. Attraverso tavoli tecnici chiamati "room", esso provvede non solo a sviluppare standard IFC per importare/esportare file tra applicativi

software diversi, ma anche a standardizzare i format per lo scambio di informazioni (**Information Delivery Manual** - IDM) e i format per i diversi usi che si vuol fare di un modello BIM (**Model View Definition** - MVD). Un'altra attività riguarda la costruzione di database per le distinte dei materiali, che viene definito nell'ambito del **buildingSMART Data Dictionary** (bSDD), di particolare rilievo per la parte ambientale e per l'applicazione dei Criteri Minimi Ambientali (CAM). Infine c'è un'ulteriore attività che riguarda l'ambiente di condivisione dei dati che si chiama **BIM Collaboration Format** (BCF) che consente a diverse applicazioni BIM di comunicare all'interno di una piattaforma condivisa tra i collaboratori del progetto.

BuildingSMART ha altre due attività che possono essere di rilievo e che vale la pena menzionare: la certificazione dei software OpenBIM e la certificazione del personale che opera in OpenBIM.

Abbiamo più volte nominato le parole "formato" e "formato aperto": le loro definizioni sono normate e si ritiene opportuno ricordarle:

Il formato di un file è la convenzione usata per interpretare, leggere e modificare il file [50].

Un **Formato Aperto** è un "Formato di file basato su specifiche sintassi di dominio pubblico il cui utilizzo è aperto a tutti gli operatori senza specifiche condizioni d'uso" [16].

Gli open standard riguardano non solo le informazioni grafiche ma anche il resto (testo, immagini, filmati, ecc.) Tra quelli che sono considerati formati aperti nei diversi settori alcuni sono riportati nella (Tabella 6)

Obiettivo informativo	Formato aperti
Modello BIM	IFC
Modello 3D	OBJ, PLY, ...
Grafici 2D	DXF, PDF, PDF/A, ODG...
Testi/documenti	RTF, ODT, PDF, xml, txt, ...
Foglio di calcolo / Tabelle	CSV, PDF, PDF/A, ODS...
Presentazione	PDF/A, PDF, HTML, ODP, JPG, , ...
Immagini / foto	JPG, PNG, TIFF, ...
Video	Mp4, AVI, ecc.

Tabella 6: Elenco di alcuni formati aperti

Vediamo nel seguito una analisi degli standard e dei format di bSI, soffermandoci di più su quelli di maggiore interesse per il futuro proseguo del lavoro della nostra linea di ricerca.

4.1.1 Industrial Foundation Class (IFC)

Industry Foundation Classes IFC è il modello informativo (**information model**) sviluppato per soddisfare l'insieme integrato delle esigenze informative della filiera AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operations).

È un formato file neutrale e aperto (non dipendente da applicativi software), nato per consentire lo scambio di informazioni interoperabile senza alterazione o perdita di dati tra tutti i protagonisti e gli applicativi che intervengono nei vari momenti del processo edilizio. È un file basato su oggetti con il modello di dati sviluppato da buildingSMART (al tempo International Alliance for Interoperability, IAI), tradotto nella norma ISO 16739:2013 [51] poi adottata dal CEN infine adottata dalla UNI.

Lo sviluppo continuo dell'IFC è un obiettivo di bSI. Nel dettaglio, l'elenco completo delle versioni del formato IFC (schema) sono pubblicate da bSI [92], in breve le versioni correnti sono:

- **IFC4** è l'ultima rilasciata e le software house la trovano disponibile online. Questo aggiornamento risolve molti problemi della precedente IFC 2x3 (es. estende il supporto alle geometrie parametriche, ai materiali e alla gestione delle entità strutturali), raggiungendo un ottimo livello di maturità per quanto concerne l'ambito edile. Non è ancora ampiamente diffusa in quanto sono rilevanti le software house che non hanno ancora aggiornato le loro applicazioni. Il formato digitale utilizzato da IFC4 è l'XML.
- **IFC2x3** al momento è ancora il formato di scambio di riferimento di numerose applicazioni. Presenta ancorale limitazioni poi superate nella IFC4.

È in fase di implementazione la versione **IFC5** che potrebbe essere rilasciata da bSI nel 2020. Questa versione si propone di estendere l'interoperabilità all'ambito civile e consentire di supportare lo scambio informativo, sia di tipo geometrico sia di tipo non geometrico, per le infrastrutture autostradali, ferroviarie e portuali.

IFC può essere codificato nei seguenti formati elettronici (Tabella 7):

Formato	Estensione	Descrizione
IFC-SPF	.ifc	Formato di testo basato su ISO 10303-21 ("STEP-File", Standard for the Exchange of Product Model Data). È il formato IFC più utilizzato.
IFC-XML	.ifcXML	Formato XML basato su ISO 10303-28 ("STEP-XML"). È un formato meno diffuso, usato per scambio informativo di strumenti XML e di modelli di edifici parziali.
IFC-ZIP	.ifcZIP	File IFC compressi, quindi di dimensioni ridotte. Sono letti dalla maggior parte delle applicazioni software che supportano IFC.

Tabella 7 Formati elettronici

Per quanto concerne la gestione e la produzione delle informazioni dell'intero processo edilizio con metodologia BIM, la principale norma di riferimento è la norma UNI EN ISO 19650-1:2019 [52] che definisce gli aspetti relativi ai processi aziendali nel settore delle costruzioni e le raccomandazioni sulla gestione delle informazioni.

L'IFC è strutturato in tre elementi essenziali che riguardano la definizione dell'oggetto, la definizione delle proprietà dell'oggetto e le relazioni che ogni oggetto può avere (ad esempio una porta può collegare l'edificio con l'esterno o collegare due ambienti interni dello stesso edificio).

Nel processo di interscambio dati in formato IFC, le procedure di import/export del file di origine comportano ancora una serie di **criticità**, che possiamo così riassumere:

- Limitata interoperabilità di applicazioni software differenti; infatti, spesso l'interoperabilità è intesa come l'utilizzo di programmi della stessa software-house compatibili tra loro, i quali permettono l'interazione di più discipline. Questo approccio fa sì che al modello sia legata una gamma di prodotti volta a soddisfare le esigenze delle varie figure coinvolte nel processo edile; in questo caso è facile garantire l'interoperabilità fra software di uno stesso fornitore, ma allo stesso tempo rappresenta un ostacolo alla libera circolazione dei prodotti. In ogni modo, anche questa soluzione a volte non garantisce l'uso dei dati in un futuro remoto quando la versione del software che ha generato il modello non fosse più disponibile.
- Eventualità che il software utilizzato non sia in grado di scrivere/leggere, tutte le informazioni residenti nel file IFC in quanto il software è stato concepito con fini diversi da quelli che ha generato il file IFC (testimonianza di questo sono i documenti di certificazione rilasciati da buildingSMART International).
- Perdita della parametrizzazione dell'oggetto una volta esportato; infatti se in un ambiente di modellazione un oggetto viene descritto mediante la valorizzazione di determinati parametri (rappresentazione dinamica), l'esportazione IFC riporterà soltanto una propria descrizione e non le relazioni parametriche che l'hanno creato (rappresentazione statica).

- Possibilità che l'utente che si occupa dell'esportazione e/o dell'importazione dei modelli informativi non conosca le potenzialità di personalizzazione dello standard IFC (come ad esempio la possibilità di definire ed implementare i parametri e gli attributi di default del formato IFC);

4.1.2 Information Delivery Manual (IDM)

Abbiamo già individuato una delle ragioni della complessità del processo edilizio nell'elevato numero di attori coinvolti. Per rendere efficace ed efficiente il trasferimento delle informazioni, bSI ha standardizzato il processo informativo attraverso la norma ISO 29481-1:2010 [53] che fornisce una metodologia per la definizione dei processi e del flusso di informazioni durante il ciclo di vita di un ambiente costruito.

L'*Information Delivery Manual (IDM)* rappresenta, in pratica, la descrizione di quali informazioni vanno trasmesse, da chi e verso chi, per quale scopo e in quale formato. Riguarda sia informazioni grafiche sia quelle non grafiche ed assume un ruolo fondamentale soprattutto quando si adotta la soluzione della piattaforma di condivisione dei dati e non un semplice file import/export di dati.

Attualmente gli IDM sviluppati per diverse applicazioni sono numerosi, ognuno con differenti livelli di completezza e di adozione. Il database degli IDM è pubblicato da buildingSMART international ed è consultabile al link [54].

Anche per alcuni usi riferiti all'analisi energetica sono stati generati specifici IDM per le diverse applicazioni. I più significativi sono riportati nella tabella che segue (Tabella 8):

ID IDM	Nome IDM	Stato	Funzionalità
GSA-003	Progettazione architettonica per l'analisi energetica dell'edificio	Bozza	Questo IDM si concentra sull'analisi energetica durante la progettazione, in particolare documentando gli input negli strumenti di analisi energetica. Prevede due livelli di input dati per l'analisi energetica, il primo per il pre-dimensionamento e non necessita dell'esperto energetico, il secondo per la fase di progettazione a cura dell'esperto energetico. IDM limitato per la fase di progettazione
NOW-001	Analisi energetica nei paesi nordici	Approvato	Unico livello di input, contiene informazioni generali sul progetto, ma non include quelle specifiche (proprietà termiche degli elementi, profili di utilizzo, ecc). Previsto il solo uso in fase di pre-dimensionamento
BSA-002	Progettazione per la performance dell'analisi energetica	Bozza	IDM proposto nel 2008, poi incorporato in GSA-003
HESMOS	Simulazione della progettazione dell'analisi energetica e costi operativi correlati all'energia	Bozza	Progetto europeo <i>"Simulazione olistica dell'efficienza energetica e gestione del ciclo di vita delle strutture di uso pubblico"</i> . Piattaforma [55]

Tabella 8 IDM per analisi energetica

La definizione dell'IDM, ad esempio per l'analisi energetica, passa attraverso lo studio delle fasi del processo edilizio (progettazione preliminare, progettazione esecutiva, costruzione, post costruzione) che, a vario titolo, sono interessate dall'analisi energetica, al fine di individuare le interconnessioni e gli obiettivi che essa ha per la specifica fase; ma soprattutto è importante definire come ciascuna delle parti interessate sia coinvolta nello scambio di informazioni e come le informazioni del modello energetico (inteso in senso generale) vengano fornite / utilizzate.

L'approfondimento, che nel seguito del paragrafo riportiamo per aspetti principali relativi alla nostra attività, si è basato molto su quanto elaborato da buildingSMART International, in particolare nella Guida "Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods" [56].

Per lo **sviluppo di un IDM** devono essere identificati i tre step successivi: la definizione del caso d'uso, la definizione dei processi, i requisiti di scambio. Infine, se necessario, verrà identificato il Model View Definition. Brevemente li spieghiamo, senza entrare nel dettaglio in quanto non è oggetto del nostro lavoro.

La definizione del caso d'uso deve dettagliare lo scopo, i bisogni aziendali e gli obiettivi dell'IDM, i criteri di successo per l'IDM, gli attori dei domini connessi al processo, i ruoli, le modalità di preparazione e le modalità di gestione dell'informazione da scambiare e come i contratti, gli standard, gli accordi esistenti ecc. possono supportare lo scambio d'informazioni.

La definizione del processo da identificare tra tre alternative che lo standard fornisce per descrivere i processi: mappa dei processi, la mappa d'interazione e la mappa di transizione che possono essere usate individualmente o in parallelo a seconda dei bisogni del caso d'uso e della documentazione del processo.

I Requisiti di scambio l'insieme di informazioni richieste per un processo identificato nell'IDM o condivise tra parti e applicazioni da specificare, all'interno dei requisiti di scambio (Exchange Requirements ER). Rappresenta la connessione tra processo e dati (Figura 12). Fornisce una descrizione delle informazioni in termini non tecnici rivolta principalmente all'utente finale (architetto, ingegnere, costruttore, ecc.). Dovrebbe tuttavia essere utilizzato anche dal fornitore della soluzione poiché fornisce la chiave del dettaglio tecnico che consente lo sviluppo dell'applicazione.

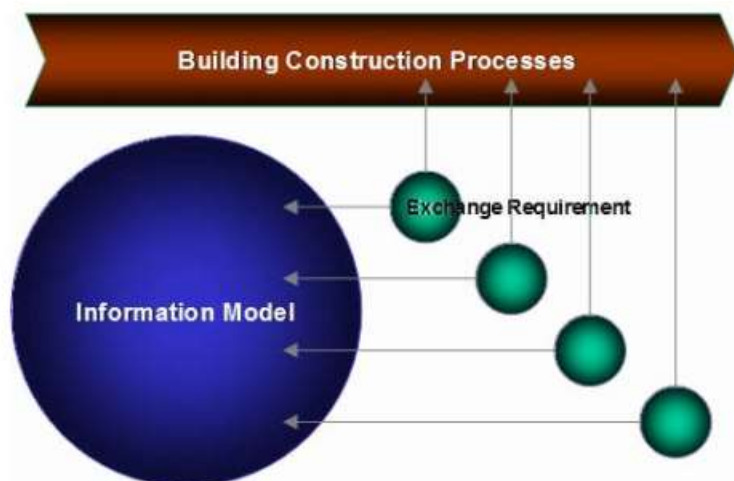


Figura 12 Requisito di scambio come collegamento tra processo e dati (fonte [56] pag.28)

Quindi, definire un requisito di scambio significa stabilire quali informazioni contenute nel modello IFC devono essere scambiate per supportare una particolare esigenza nelle relative fasi del progetto.

Questo evidenzia come il **modello IFC** sia alla base dell'architettura generale del quadro per lo scambio di informazioni della filiera AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operations).

Le **parti interessate** allo sviluppo di un IDM possono essere suddivise in tre gruppi target (Figura 13): utente esecutivo, utente finale, fornitore di soluzioni.

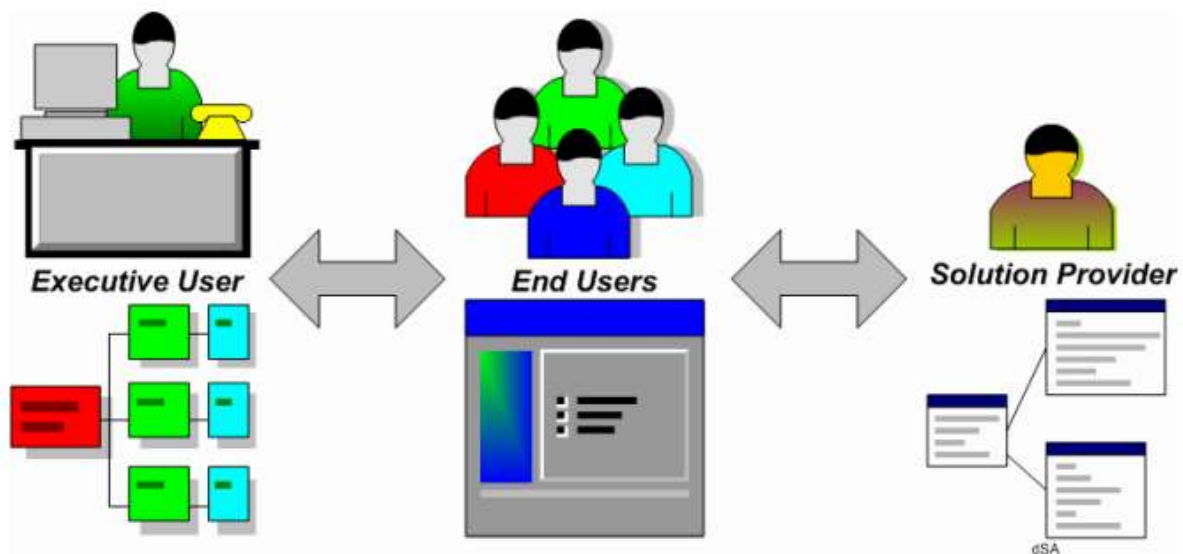


Figura 13 Gruppi target IDM (fonte [56] pag. 17)

L'utente esecutivo è colui che decide di utilizzare lo scambio di informazioni basato su IFC, conosce il processo aziendale ma non deve necessariamente conoscere i dettagli tecnici sull'uso delle informazioni all'interno del processo né conoscere lo sviluppo del software o il modello IFC.

L'utente finale è colui che in pratica utilizza l'IFC per lo scambio di informazioni. Deve conoscere esattamente quali informazioni aspettarsi e come utilizzarle nel processo aziendale, ma non è necessario che conosca lo sviluppo del software o il modello IFC.

Il fornitore di soluzioni è la persona o l'organizzazione che realizza l'applicazione software con un'interfaccia IFC. Deve conoscere le necessità degli utenti esecutivi e degli utenti finali con riferimento al software e deve avere una conoscenza tecnica dettagliata del modello IFC [[56]pag. 17]

Per meglio comprendere come è strutturato il flusso delle informazioni è utile la schematizzazione grafica dell'architettura generale del quadro per lo scambio di informazioni della (Figura 14) che identifica tre passi principali del processo generale.

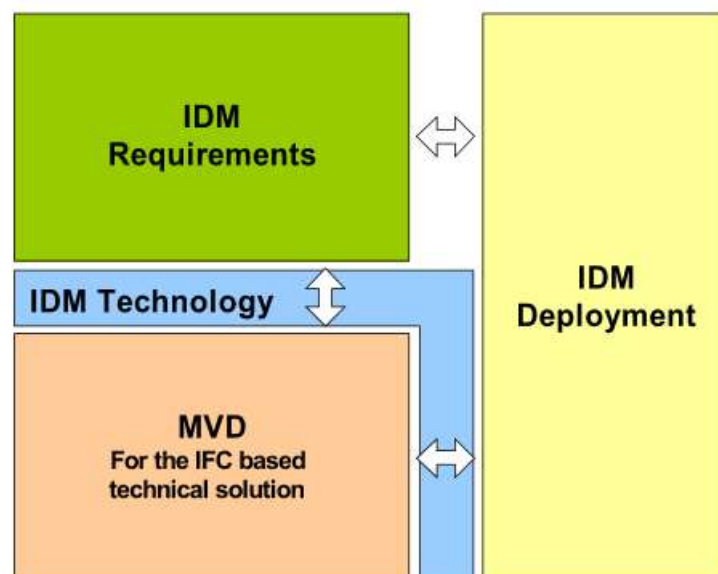


Figura 14 Architettura generale del quadro per lo scambio di informazioni (fonte [56] pag. 18)

L'IDM è il **primo passo** del quadro generale per la definizione dei processi e del flusso di informazioni tra utenti e fornitori di soluzioni software e deve includere anche l'aspetto tecnologico per la corretta configurazione delle informazioni.

Il **passo successivo** si concretizza nel Model View Definition (MVD) (che approfondiremo di seguito (4.1.3)), standard utilizzato da buildingSMART International per la certificazione dei software.

Il **terzo passo** è denominato "IDM Deployment" e fornisce la guida agli utenti sulla preparazione delle informazioni e l'uso del software.

Possiamo sintetizzare dicendo che: il Manuale di Consegna delle Informazioni (IDM) e la Definizione di Vista del Modello (MVD) hanno l'obiettivo di definire dettagliatamente quali siano le informazioni che devono essere scambiate nello specifico uso e come queste siano in relazione con il modello IFC.

Partendo dalle criticità nello scambio di informazioni nel processo di analisi energetica, riscontrate nel corso di questa attività e riportate nei capitoli precedenti, le attività future del nostro triennio di ricerca si concentreranno anche sulla definizione di indicazioni per l'interoperabilità piena del BIM nell'ambito delle diagnosi energetiche (OpenBIM).

4.1.3 Model View Definition (MVD)

La definizione della *vista del modello (MVD)* rappresenta la metodologia e il formato standard che documenta i requisiti di implementazione del software per lo scambio di dati basato su IFC standard, adottato da bSI nel 2005 [57]

Il MVD determina le modalità di utilizzo del file IFC, poiché permette di abilitare uno specifico scambio di dati. Le definizioni MVD vengono, infatti, utilizzate per lo scambio mirato di modelli specializzati, tenendo conto delle informazioni e del contenuto di cui l'utente necessita. In pratica il MVD rappresenta l'estratto di un modello IFC di cui si ha bisogno per un particolare uso. Ovvero, tra tutti i dati contenuti nel modello IFC, deve essere identificato il sottoinsieme di dati e il suo formato che sono necessari per lo scambio per il particolare uso. Tali sottoinsiemi di dati possono essere definiti dividendo lo schema IFC complessivo in "viste modello" più piccole, nelle quali vengono specificate le richieste e i bisogni dell'utente finale (dell'informazione). Il 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 tra tutti i dati che definiscono il modello architettonico, più o meno estesi a seconda del livello di dettaglio del progetto, in fase di diagnosi energetica possono essere acquisiti solo i dati necessari per la simulazione energetica (superfici, volumi, zone termiche, ecc.). Viceversa dal modello energetico possono essere esportati al modello architettonico le informazioni necessarie per i successivi usi del modello definiti dal committente nel Capitolato Informativo.

I MVD attualmente disponibili sono pubblicati sul sito di BuildingSMART International [58]. Includono sia le specifiche di scambio per IFC2x3 e IFC4, sia quelle che sono state accettate come standard internazionali o che sono attualmente in fase di sviluppo tramite il processo standard di bSI.

Nella Tabella 9 che segue riportiamo l'elenco degli MVD ufficiali bSI.

MVD bSI	Sommario
IFC2x3: Coordination View (CV 2.0)	Componenti spaziali e fisiche per il coordinamento della progettazione tra domini architettonici, strutturali e dei servizi di costruzione (MEP)
IFC2x3 Space Boundary Addon View	Individuazione ed esportazione di ulteriori confini spaziali (poligoni che definiscono l'estensione del contatto di uno spazio con superfici direttamente adiacenti (ad es. Pareti, pavimenti, soffitti e aperture). Può essere utilizzato per l'analisi energetica dell'edificio e il <i>quantity take-off</i> .
IFC2x3 Basic FM Handover View	Consegna delle informazioni sui modelli dalle applicazioni di pianificazione e progettazione alle applicazioni CAFM (Computer Aided Facility Management) e CMMS (Computerised Maintenance Management), nonché consegna delle informazioni sui modelli, dai software di costruzione e messa in servizio alle applicazioni CAFM e CMMS (si tratta di applicazioni per la gestione informatica di informazioni e processi per la fase di gestione degli edifici)
IFC2x3 Structural Analysis View	Il modello di analisi strutturale, creato in un'applicazione di progettazione strutturale da un ingegnere strutturale per una o più applicazioni di analisi strutturale.
IFC4 ADD2 Reference View	Rappresentazione geometrica e relazionale semplificata di componenti spaziali e fisici per fare riferimento a informazioni sul modello per il coordinamento del progetto tra domini architettonici, strutturali e impianti (MEP)
IFC4: Design Transfer View (beta)	Rappresentazione geometrica e relazionale avanzata di componenti spaziali e fisici per consentire il trasferimento di informazioni sul modello da uno strumento all'altro. Non un trasferimento "andata e ritorno", ma un trasferimento unidirezionale di dati e responsabilità ad alta fedeltà.

Tabella 9 Elenco MVD ufficiali bSI

In alcuni di questi MVD il modello esportato non consente modifiche geometriche, in altri, invece, è possibile ma il trasferimento di progetti parametrici e contesti complessi non è ancora completo.

Nell'interfaccia utente di esportazione IFC dei software che supportano l'esportazione di file IFC, sono dichiarate le opzioni specifiche del supporto MVD utilizzate.

Gli MVD sono strutturati in modo tale che ogni partecipante al processo possa individuare le informazioni di propria competenza. BuildingSMART International mette a disposizione [57] una schematizzazione che aiuta il destinatario dell'informazione a identificare le informazioni di proprio interesse. Lo studio approfondito di questa struttura delle definizioni MVD, ha portato all'elaborazione della (Tabella 10) di sintesi dello schema proposto.

Gli MVD vengono suddivisi in due sezioni principali, una tecnica e una non tecnica. La prima individua definizioni non tecniche destinate agli utenti del software, la seconda individua le definizioni tecniche indirizzate agli sviluppatori di software.

	Autori	Utilizzatori	
Non Tecnica	Autori non tecnici Creano definizioni MVD dal punto di vista degli utenti finali. Devono conoscere le necessità dei due estremi dello scambio dati (ad es. per l'analisi energetica sia la progettazione architettonica sia la progettazione energetica). Conoscere i software disponibili aiuta a creare definizioni realistiche, ma non è necessario capirne il processo o le modalità di sviluppo.	Gestori di software Sono gli esperti delle software house che decidono se, come e su quale livello il loro software sarà compatibile IFC. Le definizioni MVD descrivono le attuali possibilità di scambio tramite IFC e quelle future.	Utenti del software Sono coloro che utilizzano il software per i progetti AEC/FM. Devono conoscere le possibilità del software di corretto e completo scambio di dati basato su IFC. Le definizioni MVD descrivono le necessità dello scambio di dati e i risultati della certificazione bSI attestano le possibilità del loro utilizzo.
	Autori tecnici Partendo dalle definizioni MVD non tecniche, elaborano definizioni MVD tecniche per indicare le modalità di applicazione del modello IFC per raggiungere i risultati previsti. È in questa fase che devono definirsi gli accordi tra gli sviluppatori dei software (in genere, in questa fase viene attivamente coinvolto un primo gruppo di software house).	Sviluppatori di software In base alle definizioni tecniche degli MVD e quanto stabilito negli accordi, gli sviluppatori implementano le funzionalità di importazione / esportazione IFC nello specifico software. La certificazione bSI garantisce la conformità alla definizione MVD.	Promotore della certificazione MVD Sono i responsabili dell'organizzazione del processo di certificazione (dalla organizzazione di workshop alla pubblicazione dei risultati della certificazione). Un compito importante è rendere chiari e comprensibili i risultati della certificazione agli utenti finali del software.

Tabella 10 Struttura delle definizioni MVD

Il compito di implementare le funzionalità di importazione / esportazione IFC di un software spetta, dunque, agli sviluppatori dei software. Come riportato nella (Tabella 10), non è sufficiente per gli sviluppatori di software basare l'implementazione solo sul sottoinsieme della definizione del modello IFC di propria competenza (identificato nell'MVD), ma è necessario anche definire degli **accordi** tra gli sviluppatori degli applicativi per stabilire **come** lo schema IFC debba essere applicato nel singolo caso specifico. ...*Come regola di base, consentire più di un modo per fare esattamente la stessa cosa non fornisce alcun valore per lo scambio di dati. Al contrario, aumenta lo sforzo di implementazione e aumenta la probabilità di bug e problemi di interoperabilità. Dal punto di vista dell'interoperabilità è molto più importante concordare un modo che funzioni, piuttosto che trovare il modo migliore o ottimale. Dal punto di vista dell'implementazione, gli sviluppatori di software tendono, tuttavia, a prendersi cura del proprio interesse. Ogni software ha il suo modello interno e il compito dell'implementazione IFC è fondamentalmente la creazione di una mappatura tra il modello interno e il modello IFC. Poiché i modelli interni sono diversi, un modo di fare qualcosa potrebbe essere più facile da implementare in un software che in un altro. Questo è il caso, ad esempio, della direzione di estrusione della geometria di un muro, che potrebbe essere lungo l'asse del muro, verso l'alto o perpendicolare alla faccia del muro stesso* [57].

Le regole concordate nell'accordo vanno rispettate da tutti i fornitori di supporto software, per questo è importante partecipare attivamente alla loro definizione.

Questo porta ad un'altra considerazione. Sviluppare un'interfaccia ad hoc per uno specifico software è controproducente anche per la stessa casa software in quanto, nel momento in cui viene sviluppato un MDV

standard, si troverebbe presto fuori mercato in quanto i maggiori produttori di software troverebbero più redditizio sviluppare un'interfaccia standard che non una per una determinata applicazione. D'altra parte anche il produttore di un software per uno specifico uso, potrebbe trovarsi a dover predisporre più interfacce per più applicativi, con un impegno notevole non sostenibile dal punto di vista economico. Per queste ragioni, bSI suggerisce di sviluppare definizioni MVD concordate tra tutti i produttori di software interessati, al fine di ottenere un vantaggio reciproco e per il raggiungimento dell'obiettivo di tutti dell'OpenBIM.

Ad oggi, **le definizioni MVD**, ovvero le viste del modello identificate attraverso MVD ufficiali, **sono in numero limitato rispetto alle necessità per l'interoperabilità piena del BIM nel settore delle costruzioni e ancora meno sono i MVD applicati dagli strumenti software BIM.**

Ne sono disponibili definizioni MVD per l'analisi energetica.

Lo scopo del nostro lavoro è contribuire significativamente alla loro definizione.

4.1.4 BIM Collaboration Format (BCF)

Nel futuro del mondo edile non si parlerà più di "scambio" ma di condivisione di informazioni. Questo significa che l'informazione viene condivisa in un ambiente condiviso, nel quale il professionista che l'ha generata assicura che sia sempre aggiornata in modo che tutti coloro che l'hanno utilizzata o intendono utilizzarla siano informati del suo aggiornamento e possano eventualmente commentare la nuova versione.

Il *formato di collaborazione BIM (BCF)* è uno standard openBIM internazionale di buildingSMART. È stato creato per una univoca e trasparente gestione dei problemi, perché consente di tenerne traccia nel momento che vengono identificati, segnalati ed infine risolti. Ogni problema BCF è registrato con un ID univoco che consente una visione immediata delle problematiche ancora aperte, di chi ne è responsabile e quali e quando vengano risolte. Quando il problema viene risolto nel software di modellazione, il BCF viene aggiornato e viene inviata comunicazione al project manager.

Il trasferimento dei dati avviene nel formato XML e le modalità di trasmissione sono essenzialmente due:

- tramite uno scambio di file. È utilizzato dalla maggior parte degli utenti per la sua maggiore semplicità. Con procedura standardizzata, il file BCF (.bcfzip) viene trasferito da un utente all'altro, modificato e restituito.
- Attraverso un servizio web. I dati BCF vengono memorizzati su un server BCF (può essere anche server BIM) che li memorizza e consente ai partecipanti al progetto di sincronizzare in uno spazio condiviso unico la creazione, la modifica e la gestione degli argomenti BCF.

Per chiarire meglio, a differenza dei flussi di lavoro dei file IFC, i file BCF possono essere "modificati", purché tutti mantengano l'integrità del file BCF condiviso e non ne vengano diffuse più copie.

4.1.5 buildingSMART Data Dictionary (bSDD)

Il *buildingSMART Data Dictionary (bSDD)* fa parte degli standard di bSI. Non è un semplice database di elementi legati al mondo delle costruzioni ma è anche un vero e proprio dizionario per la comprensione dei termini utilizzati nelle diverse discipline in modo che non ci sia confusione al momento del trasferimento o della condivisione delle informazioni. Si pensi banalmente all'espressione "superficie utile" che può essere interpretata diversamente non solo tra diversi paesi ma anche da diversi regolamenti edilizi nazionali. La digitalizzazione prevede, infatti, che non ci siano problemi di "interpretazione" in quanto un software non interpreta ma esegue.

Il Dizionario dei Dati è stato sviluppato da buildingSMART [59], è una libreria aperta e internazionale che consente di identificare gli oggetti e le loro caratteristiche tecniche indipendentemente dalla lingua utilizzata (si basa sulla ISO 12006-3:2007 [60], revisionata nel 2012). Per gli autori del contenuto della terminologia

bsDD, bSI ha reso disponibile online [61] una linee guida specifica, che, però, non è rivolta agli utenti finali o agli sviluppatori di software.

bSDD mette in connessione gli architetti, gli ingegneri, i consulenti, i proprietari, i facility manager, ecc., con i produttori e i fornitori di prodotti di tutto il mondo per la condivisione dei prodotti e delle loro informazioni al di là delle frontiere linguistiche.

Questo dizionario permette di superare i limiti delle librerie dei software di authoring che non sempre sono fornite di tutte le caratteristiche necessarie per le analisi termiche ed energetiche dei componenti edilizi, ma soprattutto non seguono standard condivisi.

4.1.6 Green Building XML (gbXML)

Il *Green Building XML (gbXML)* è uno schema aperto sviluppato per facilitare il trasferimento dei dati di costruzione archiviati in BIM a strumenti di analisi energetiche. gbXML è stato integrato in una gamma di software CAD e strumenti di ingegneria e supportato dai principali fornitori di BIM 3D. gbXML è ottimizzato per trasferire le proprietà dell'edificio da e verso gli strumenti di analisi energetiche per ridurre gli attuali problemi d'interoperabilità. Questo standard è largamente utilizzato negli USA in quanto legato alla certificazione ambientale degli edifici LEED del Green Building Council.

4.2 Common Data Environment (CDE) o Ambiente di Condivisione dei Dati (ACDat)

Il *Common Data Environment (CDE)* (con riferimento alle BS [62]), *Ambiente di Condivisione dei Dati (ACDat)* (con riferimento alle UNI [63]) identifica l'ambiente digitale unico per la gestione dei dati e dei file che riguardano l'ambiente costruito per tutte le fasi del ciclo di vita (progettazione, costruzione, gestione e manutenzione), che deve essere accessibile da tutti i soggetti interessati della filiera secondo differenti diritti ed in base alle rispettive competenze (committenti, progettisti, pubbliche amministrazioni, imprese, fornitori, Facility Manager, ecc.).

L'ambiente di condivisione dei dati, nella normativa italiana, è definito all'art. 2 del DM 560/2017 [64]: *Un ambiente digitale di raccolta organizzata e condivisione di dati relativi ad un'opera e strutturati in informazioni relative a modelli ed elaborati digitali prevalentemente riconducibili ad essi, basato su un'infrastruttura informatica la cui condivisione è regolata da precisi sistemi di sicurezza per l'accesso, di tracciabilità e successione storica delle variazioni apportate ai contenuti informativi, di conservazione nel tempo e relativa accessibilità del patrimonio informativo contenuto, di definizione delle responsabilità nell'elaborazione dei contenuti informativi e di tutela della proprietà intellettuale.*

Iniziano ad essere disponibili piattaforme aperte accessibili e fruibili online basate sull'uso di formati aperti. È attualmente in fase di definizione una piattaforma di collaborazione digitale Open per le costruzioni grazie a "WebIM", un programma di ricerca finanziato dal MIUR e coordinato dall'Università Politecnica delle Marche che vede il coinvolgimento di alcune università italiane. La piattaforma è finalizzata allo scambio dei dati e all'ottimizzazione dei flussi informativi attraverso l'uso dello standard internazionale ifcOWL di BuildingSMART.

4.3 BIM Library pubbliche e private

Ogni software ha una propria libreria di oggetti BIM che sono funzionali all'uso del software stesso. Tali librerie sono sicuramente essenziali durante la progettazione preliminare in quanto il professionista con un semplice "drag and drop" può inserire l'oggetto nel modello. L'oggetto può riguardare una parete, un solaio, un infisso o anche un impianto, ecc. nel momento della progettazione esecutiva, la libreria del software potrebbe non essere sufficiente perché potrebbe non contenere i prodotti che realmente si andranno ad

utilizzare. A questo scopo sono nate le librerie di oggetti BIM, una delle più famose è www.bimobject.com che include gli oggetti prodotti da oltre 1600 ditte disponibili in molte lingue. Il progettista può pertanto scaricare l'oggetto che realmente intende utilizzare e il progettista energetico può verificare se la scelta fatta soddisfa il livello prestazionale necessario. Se in fase di costruzione si installa qualcosa di diverso si può di nuovo utilizzare la libreria di oggetti per inserire quello realmente installato o, se non presente, si dovrà chiedere al fornitore di fornire le informazioni riguardanti l'oggetto nelle modalità previste dall'ACdat.

4.4 L'attività di standardizzazione

Gli standard per l'OpenBIM sono in continua evoluzione. Conoscere quanto si sta facendo a livello nazionale e internazionale, consente nel proseguo dell'attività di ricerca, di implementare standard che possano poi essere proposti a livello internazionale attraverso i canali ufficiali, oltreché di evitare di sviluppare qualcosa che è già in fase di standardizzazione.

Nel contesto europeo si stanno individuando le norme che poi, con ogni probabilità verranno date come riferimento nell'applicazione della direttiva sui lavori pubblici che è stata implementata dall'Italia con il D.Lgs 50/2016 [65].

A livello nazionale il comitato tecnico UNI/CT 033/GL 05 "Codificazione dei prodotti e dei processi costruttivi in edilizia" ha prodotto la serie di norme UNI 11337 (per ora sono 9 parti) relativa al BIM. Altre norme sono semplicemente il recepimento di quelle EN o ISO.

A livello europeo, il comitato tecnico del CEN 244, all'interno del gruppo di lavoro 7, intende sviluppare una "Model View Definition" che definisce i parametri da considerare per la performance energetica in collaborazione con CEN/TC 371 Project Committee - Energy Performance of Building project group.

Molte delle attività promosse dal CEN derivano dal lavoro del comitato tecnico ISO ISO/TC 59/SC 13 "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)"

Tutto questo lavoro di standardizzazione parte dai bisogni dei maggiori stakeholder internazionali che, all'interno di buildingSMART International, individuano i requisiti sullo scambio delle informazioni in qualsiasi ambito e svolgono l'attività di pre-standardizzazione.

Per quanto concerne la nostra attività, siamo al corrente che l'estensione dell'IFC per considerare gli elementi utilizzati in una diagnosi energetica è in fase di sviluppo a livello internazionale. Con questo lavoro possiamo contribuire alla definizione di standard **che tengano presente le esigenze del mercato italiano soprattutto orientato all'esistente piuttosto che al nuovo.**

4.5 Considerazioni conclusive

Abbiamo già detto che l'attività di ricerca triennale di cui questo lavoro è il punto di partenza, ha tra gli obiettivi la definizione delle caratteristiche e dei contenuti minimi che una diagnosi energetica in ambiente BIM deve possedere. Considerando che le informazioni della diagnosi vengono utilizzate anche in altre fasi del ciclo di vita (es. progettazione esecutiva, costruzione, gestione e manutenzione), per l'individuazione dei requisiti non si può considerare solo lo specifico caso d'uso, ma occorre studiare tutte le fasi del processo edilizio commesse con l'analisi energetica per definire come ciascuna delle parti interessate sia coinvolta nello scambio di informazioni e per individuare quali informazioni debbano essere trasmesse, chi ne siano i destinatari e quale ne sia lo scopo.

Altrimenti si rischierebbe di definire pienamente i requisiti nell'ambito specifico, ma si perderebbe l'efficacia dell'interoperabilità nell'intero processo.

Lo scopo del nostro lavoro non è solo definire i requisiti, ma anche dare indicazioni **su quale sia la corretta modalità di procedere per una implementazione pienamente interoperabile dei software.**

Definiti i requisiti, i passi successivi per arrivare all'implementazione dei software per le diagnosi energetica BIM, devono essere necessariamente svolti in collaborazione con le software house e, soprattutto, compiuti secondo gli standard dell'OpenBIM: dalla definizione del IDM, alla definizioni dei MVD per l'analisi energetica, all'eventuale ampliamento del modello IFC.

Gli IDM e i MVD devono essere frutto di una "negoiazione" tra le esigenze degli utilizzatori dei software e le software house, in un processo che non si conclude nella definizione iniziale, ma prosegue con ottimizzazioni successive. È inoltre molto importante che gli sviluppatori di software specifici, collaborino per stipulare accordi che indichino le regole di comunicazione tra il modello proprio dell'applicazione e il modello IFC.

La digitalizzazione, di fatto comporta due conseguenze principali: l'ammodernamento di tutto il processo del mondo delle costruzioni e la consapevolezza che in un futuro non molto lontano un ospedale, un grattacielo o una scuola possano essere progettata in qualsiasi parte del mondo ed essere realizzati in Italia. Per essere certi che i progetti rispettino i requisiti energetico-ambientale del nostro paese bisogna che i software includano i requisiti normativi stabiliti a livello nazionale, ma allo stesso tempo bisogna essere certi che non vengano implementati in un isolamento "regionale", bensì che siano allineati con il contesto internazionale dove gli standard vengono definiti.

Per questo, riteniamo che sia opportuna una maggiore attenzione su ciò che viene proposto nelle sedi internazionali in modo da poter intervenire con gli strumenti opportuni nel processo di standardizzazione per l'inserimento dei requisiti nazionali.

Per riepilogare: questo studio ha messo in evidenza la necessità che i fornitori di software non puntino a sviluppare soluzioni per l'implementazione ad hoc per l'interoperabilità di specifici software, ma piuttosto attuino soluzioni che siano indipendenti dai software proprietari che le generano, che, quindi, necessariamente si basino su standard aperti non proprietari che tutti possano utilizzare nel presente ma, soprattutto, nel futuro.

5 Il BIM negli appalti pubblici

La digitalizzazione del settore dell'industria (Industria 4.0) è in continuo aumento e in continua evoluzione, ma nel settore delle costruzioni l'avvio risulta ancora lento. Impulso fondamentale in questa direzione può essere dato dalla pubblica amministrazione attraverso un crescente uso del BIM negli appalti pubblici.

5.1 BIM e codice degli appalti pubblici

L'obbligo del BIM è introdotto nel nuovo codice degli appalti [65]: all'art. 23 si prevede che le stazioni appaltanti possono richiedere, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici e, tali strumenti, devono utilizzare piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari.

Le modalità e i tempi di progressiva introduzione dell'obbligo del BIM per i lavori pubblici sono definiti all'art. 6 del cosiddetto decreto BIM [64], attuativo proprio dell'art.23 del D.Lgs 50/2016 (Figura 15): dal 1 gennaio 2025 l'obbligo per le stazioni appaltanti pubbliche di indire bandi di gara che prevedano l'utilizzo della metodologia BIM sarà per tutte le opere.

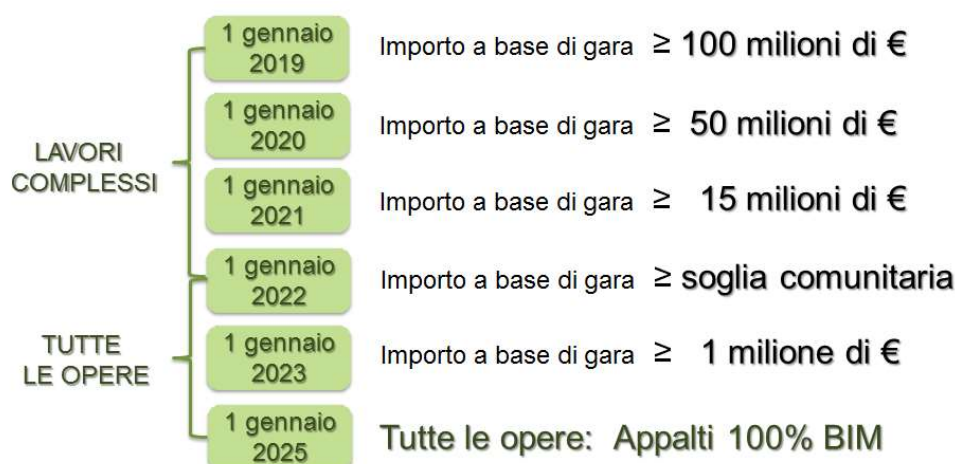


Figura 15 Art. 6 DM 560/2017: Tempi obbligo BIM appalti pubblici

5.1.1 Adempimenti preliminari per la pubblica amministrazione

All'art 3 del decreto BIM [64] sono definiti gli adempimenti preliminari obbligatori che le stazioni appaltanti devono effettuare al fine di dotarsi di una struttura che sia in grado di gestire tutto il processo BIM, ovvero:

1. Formazione professionale BIM: idonea formazione professionale del proprio personale a seconda del ruolo svolto.
2. Dotazione hardware e software interoperabile. L'obbligo di interoperabilità del software è prevista all'art. 4: la PA non può chiedere nei propri bandi di gara l'utilizzo di specifici software proprietari.
3. Definizione processi BIM, ovvero definizione di come s'intende sviluppare il progetto BIM.

5.1.2 Bandi pubblici "BIM"

Il Rapporto OICE sulle gare BIM 2018 per opere pubbliche [66], fornisce informazioni utili per capire i progressi in atto nelle gare pubbliche con richiesta di BIM. Il numero delle gare BIM è aumentato da 83 nel 2017 ad oltre 260 nel 2018 (Figura 16), ed ha interessato soprattutto le Stazioni Appaltanti centralizzate dello Stato e le Centrali di Committenza, meno gli Enti locali. Un aumento c'è stato anche dal punto di vista qualitativo con riferimento ai contenuti del capitolato informativo, mentre sono "ancora da sviluppare, in modo più compiuto, tutti gli elementi che dovrebbero caratterizzare un processo ispirato ai principi di Information Management e caratterizzato da un effettivo miglioramento dell'efficacia delle decisioni prese grazie ad una migliore qualità delle informazioni utilizzate"[66].



Figura 16: Andamento mensile del numero dei bandi BIM – fonte [66] pag 16

Vediamo, inoltre, che c'è stato un aumento dei bandi per le ristrutturazione, il recupero e il risanamento rispetto alle nuove realizzazioni, a conferma dell'importanza dell'implementazione delle diagnosi energetiche secondo la metodologia BIM (Figura 17).

Tipologia di intervento	2017		2018		Differenza % 2018/2017
	num.	%	num	%	
Ristrutturazione	49	59,0%	199	74,3%	306,1%
Nuova realizzazione	34	41,0%	69	25,7%	102,9%
Totale	83	100,0%	268	100,0%	222,9%

Figura 17 Numero bandi BIM per tipologia d'intervento [66] pag 30

In generale *“è emersa una sostanziale analogia nelle modalità con le quali le stazioni appaltanti hanno valorizzato il profilo BIM nella documentazione di gara... gli atti di gara si diversificano notevolmente gli uni dagli altri e contengono richieste puntuali, così come previsioni assolutamente generiche e indeterminate. ... rimane invariata una considerazione di fondo: gli atti di gara esaminati riflettono l'incompletezza e indeterminata del quadro regolatorio, non ancorato ad un corpo delle conoscenze definito”* [66].

Le gare che prevedono “generica richiesta di progettazione in BIM”, sono pari al 13,8% del totale delle gare, dimostrando che occorre investire per una crescita virtuosa della PA *“... con strumenti e risorse adeguate, oltre che con efficaci atti regolatori”* [66].

Inoltre, il frazionamento in lotti degli appalti, disciplinato dall'articolo 51 del D.Lgs. 50/2016 [65], senza che ciò consenta di derogare dall'applicazione del codice, fa rientrare facilmente negli obblighi di uso del BIM già con le soglie d'importo attuali, anche medie e piccole imprese, perché l'importo dell'appalto resta definito dalla somma degli importi dei singoli lotti.

È importante comprendere che le PMI, pur se non partecipano direttamente a gare per cui è richiesto il BIM, possono comunque rientrare nell'obbligatorietà del BIM se subfornitori dell'impresa affidataria.

Gli impegni della pubblica amministrazione nel BIM vanno oltre: in un processo d'implementazione del BIM “maturo”, anche il processo autorizzativo potrà essere svolto dal committente che, senza dover acquisire alcun software, sarà in grado di visualizzare il file in un software free e concedere o meno l'autorizzazione a procedere o inserire commenti o richieste di modifica. Si parla in questo caso di “code checking”, cioè di un sistema semiautomatico che controlla il rispetto del progetto a quanto previsto nelle norme/regolamenti, (ad esempio, rispetto dei parametri urbanistici, norme di sicurezza, requisiti energetici, ecc.).

5.2 Considerazioni finali

Alcune amministrazioni pubbliche italiane hanno emesso bandi con richiesta di uso del BIM anche prima del D.Lgs 50/2016 [65], dimostrando **fiducia e interesse nella digitalizzazione** al di là dell'obbligo normativo.

Alla luce dei risultati che vedono anche per il BIM gli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti più numerosi delle nuove costruzioni, appare fondamentale l'obiettivo di questa attività di ricerca, ovvero l'implementazione del BIM per la realizzazione di diagnosi energetiche per la riqualificazione di edifici ad alta efficienza. La digitalizzazione dell'esistente diventa interessante quando conduce alla successiva fase di gestione e di manutenzione attraverso un modello OpenBIM con specifici software di facility management o con semplici data base con tutte le apparecchiature e le informazioni per la loro gestione ottimale e per la loro manutenzione.

Ciononostante, l'introduzione di processi digitali nella Domanda Pubblica risulta ancora piuttosto difficoltosa, in particolar modo per le piccole amministrazioni locali maggiormente interessate dall'assenza, nel proprio

organico, delle competenze professionali necessarie. Altre motivazioni sono da ricercarsi nella difficoltà di adempiere a quanto previsto dal DM 560/2017 [64] e nelle problematiche che ancora permangono per la completa definizione dell'intero processo che causa perplessità specialmente per gli interventi minori.

Gli adempimenti documentali e procedurali propri del processo BIM, devono, inoltre, essere opportunamente stabiliti nel codice degli appalti, per una chiara definizione delle modalità di gestione delle gare pubbliche che richiedono il BIM.

Inoltre, al momento, non è molto diffusa la digitalizzazione del progetto già nella fase di concezione preliminare e i Capitolati Informativi non sono sempre predisposti per lo specifico appalto o non sempre hanno completa definizione delle richieste informative in ottemperanza a quanto previsto dall'art.7 del DM 560/2017 [64] (es. CDE, "uso" del BIM, ecc), ovvero non prevedono il rispetto degli obblighi di utilizzo di formati non proprietari. Allo scopo sono state predisposte dal Capitolo Italiano di BuildingSMART, le "Linee guida per la corretta compilazione della sezione tecnica dei Capitolati informativi in riferimento ai formati file" [67].

L'accrescimento delle competenze "BIM" interne nella pubblica amministrazione è, dunque, una priorità. In questa direzione vanno i corsi di formazione "BIM" per la gestione tramite il modello dei nuovi appalti e per acquisire tutti gli strumenti digitali necessari, che sono stati avviati al Provveditorato Interregionale alle OO.PP per il Lazio, Abruzzo e Sardegna [68].

Vale la pena citare Luca Attias (ndr: commissario per l'Agenda digitale) che ha sottolineato che *"Non è possibile ritenere che la committenza pubblica possa davvero digitalizzarsi al di fuori di una strategia complessiva"*.

Uno degli scopi di questo documento, è proprio quello di dare un contributo nella direzione della conoscenza piena del processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni e della consapevolezza dei benefici e dei vantaggi che essa apporta. Rendere consapevoli che per la piena applicazione della digitalizzazione dell'industria delle costruzioni occorre il coinvolgimento e il contributo di tutti i settori organizzativi della pubblica amministrazione.

Sarebbe interessante, a tal proposito, pur se non riguarda direttamente la trattazione del nostro lavoro, stilare una "roadmap" che aiuti le PA locali a passare dai processi attuali, essenzialmente basati su documentazione cartacea, ai processi digitali. Ciò va fatto in modo graduale acquisendo la "piena maturità del BIM" per stadi successivi. La letteratura è piena di esempi dei livelli di maturità che prevedono essenzialmente:

- **Livello zero**
si cominciano a digitalizzare secondo formati aperti i documenti già precedentemente prodotti su carta o anche digitali ma con software proprietari al fine di renderli più facilmente accessibili (mappe catastali, piani regolatori, piante, prospetti, norme, ecc.).
- **Livello uno**
i documenti digitali sono associati ai modelli 2D dell'edificio, quindi tutto è in formato digitale.
- **Livello due**
i documenti digitali ed ogni altra informazione prodotta durante il ciclo di vita dell'edificio sono associati al modello 3D in formati aperti che permettono lo scambio e la condivisione di informazioni ritenute necessarie per gestire l'intero ciclo di vita di un edificio.
- **Livello tre**
tutte le informazioni sono condivise all'interno di una piattaforma che rappresenta l'ambiente collaborativo dove tutti i professionisti condividono un unico modello e dove ciascun professionista ha la possibilità di lavorare per intervenire sul progetto e proporre le proprie modifiche. Il modello BIM, così ottenuto può essere utilizzato dal proprietario per la gestione e manutenzione durante tutto il ciclo di vita dell'edificio.

6 Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro è stato fornire una panoramica sullo stato dell'arte degli strumenti, degli standard e dei metodi per il Building Information Modeling (BIM) per edifici ad alta efficienza energetica, con uno specifico riferimento alle tematiche della riqualificazione energetica e, in particolare, a quella fase fondamentale di conoscenza e studio dello stato attuale degli edifici da riqualificare e delle loro prestazioni che è rappresentata dalla diagnosi energetica.

Già a partire dalle fasi iniziali di rilievo delle caratteristiche geometriche e termofisiche degli elementi costituenti l'involucro dell'edificio e di analisi delle prestazioni del sistema edificio-impianto allo stato di fatto, sono numerosi i vantaggi che l'approccio BIM può apportare per semplificare il lavoro dei tecnici, migliorare la precisione e la qualità del lavoro di diagnosi, ridurre tempi e costi del processo. Fornendo uno sguardo alle tecnologie (sia "hard", sia "soft") in fase di sviluppo e a quelle già presenti sul mercato, si è delineato un quadro dello stato dell'arte del BIM per l'analisi energetica, allo scopo di promuoverne la conoscenza e stimolarne la diffusione sul territorio nazionale.

Esistono però ancora diversi fattori che limitano l'utilizzo diffuso del BIM nel campo dell'analisi energetica dell'esistente: e fra questi, sicuramente, ci sono i grandi cambiamenti che esso apporta all'intero processo edilizio unito alla necessità di un grande investimento iniziale in termini di formazione e informazione da parte di tutti gli attori coinvolti oltre che un investimento in hardware e software. Gli obblighi normativi nella direzione della digitalizzazione del processo edilizio potranno fornire un forte stimolo in tale direzione, ma è necessario che i professionisti del settore abbiano a disposizione tutti gli strumenti per poter utilizzare appieno le potenzialità del BIM. Proprio in questa direzione, questo lavoro ha inteso fornire il suo contributo.

Per quanto riguarda il tema della diagnosi energetica in Italia, si è dimostrato che alcune case software attive nel campo dell'analisi energetica degli edifici hanno cominciato – in maniera più o meno approfondita – ad integrarsi nel processo BIM.

Alcune di queste, ad oggi, permettono, in maniera più o meno completa nonché più o meno automatizzata, di condurre il processo di importazione delle informazioni dal modello BIM, lo studio dello stato di fatto e l'analisi energetica all'interno dei tool per il BEM, nella situazione ideale in cui l'anagrafica in BIM dell'edificio sia già presente prima dell'avvio della diagnosi. Si è dimostrato, inoltre, come ci si stia orientando sempre di più verso l'utilizzo di formati aperti e interoperabili IFC, ossia in ottica OpenBIM. Sono tuttavia necessari ulteriori lavori di standardizzazione e integrazione per permettere un'interoperabilità piena per il trasferimento d'informazioni su tutto il processo, come analizzato nel corso del lavoro.

Nella prassi, allo stato attuale, quasi mai i tecnici che effettuano le diagnosi hanno a disposizione un'anagrafica completa di un edificio e si trovano spesso a dover effettuare complessi rilievi dell'esistente per ricostruire un modello energetico dello stato di fatto. I risultati di una diagnosi sono spesso distribuiti su documenti e file separati o collegati in maniera non dinamica, con una conseguente perdita di informazioni e duplicazione del lavoro.

I tecnici che effettuano una diagnosi energetica non sono modellatori BIM, ma si trovano a portare avanti questo lavoro – in molti casi, richiesto per obblighi normativi – che include l'analisi e la modellazione energetica dell'esistente. Impostato nella maniera corretta, il lavoro dei tecnici diagnostici potrebbe essere "sfruttato" come base per l'esportazione delle informazioni di un modello interoperabile, seppur semplificato, ricco di informazioni grafiche e non grafiche (termofisiche, materiche, prestazionali). Questa è un'opportunità significativa, non solo per i professionisti, ma anche per i committenti e proprietari degli edifici, soprattutto nell'ottica della pianificazione e realizzazione degli interventi proposti, della futura gestione e manutenzione dell'edificio.

Ad oggi, mancano delle linee guida che indichino quale sia il flusso delle informazioni e quali siano i dati necessari per l'implementazione dell'uso del BIM in una diagnosi energetica; al tempo stesso, però, sempre

più bandi richiedono la “restituzione” di diagnosi energetiche in ambiente BIM ed occorre chiarire cosa questo significhi per i professionisti chiamati a farlo.

Nel prosieguo di questo lavoro s'intende fornire degli strumenti e delle linee guida chiari per la Diagnosi Energetica in ambiente BIM, tenendo in considerazione entrambi i workflow, attualmente, possibili:

1. dal modello BIM as built dell'esistente alla diagnosi in BEM;
2. dalla diagnosi e modellazione energetica in ambiente interoperabile all'esportazione IFC;

Nel caso in cui si abbia già a disposizione un modello dell'edificio in BIM questo processo è sicuramente semplificato, ma è necessario comunque fornire delle definizioni chiare per i tecnici che effettuano la diagnosi circa i contenuti minimi e le informazioni da associare al modello BIM as built dell'edificio per permettere le analisi energetiche secondo norma, il livello di dettaglio da utilizzare, i passi necessari per la piena interoperabilità del processo. Nelle seguenti annualità, questo lavoro cercherà di fornire un contributo in questa direzione.

Nel caso in cui il tecnico diagnosta che effettua la diagnosi si trovi a dover realizzarla a partire da un'anagrafica incompleta dell'esistente - ossia la situazione più comune al giorno d'oggi – restituire in ambiente BIM la diagnosi energetica vorrebbe dire utilizzare il modello tridimensionale semplificato dell'edificio realizzato nell'ambito della diagnosi, contenente informazioni grafiche e non grafiche sulla sua prestazione energetica che possono essere esportate in formato interoperabile certificato (IFC) ossia consultabili con un visualizzatore IFC (o BIM viewer) non proprietario. Anche per fare questo, è necessario definire con chiarezza, per i tecnici, i processi ed i contenuti minimi da inserire nel modello energetico, le informazioni da esportare, mentre, per le case software, il tipo di informazioni da includere, visualizzare ed organizzare all'interno del modello da esportare.

Definire correttamente i requisiti di una diagnosi energetica non è sufficiente ad assicurare che poi le software house implementino i propri applicativi nella direzione di una interoperabilità piena ed universalmente riconosciuta (OpenBIM). Operare secondo gli standard dell'OpenBIM porta con sé i benefici di uno scambio informativo non legato ad alcun software proprietario, tra i quali non va sottovalutato la garanzia della corretta conservazione dei dati e dei documenti. Infatti, vincolare una informazione ad un determinato applicativo può significare che, presto o tardi, non si avrà più la possibilità di reperirla o che, comunque, pur potendo farlo, non si avrà la certezza della sua attendibilità, non essendo vincolata da una precisa procedura che ne tracci le modifiche e la protegga da alterazioni dei dati.

Tutto questo accade se le software house sviluppano soluzioni ad hoc per interfaccia che consentano interoperabilità tra software della stessa casa, ovvero per un altro specifico applicativo.

Si deve, invece, essere consapevoli che la digitalizzazione globale del settore delle costruzioni porterà con sé la necessità di condivisione dei dati in piattaforme necessariamente aperte, perciò fondate su standard internazionale per l'OpenBIM.

Pertanto, altro importante obiettivo del nostro lavoro, è evidenziare che la direzione da intraprendere verso l'interoperabilità completa dello scambio informativo alla base del BIM, passa attraverso lo sviluppo di soluzioni per l'implementazione dei software basate su standard internazionali.

Va aggiunto, inoltre, che la definizione di questi standard deve essere concordata e condivisa tra i gruppi target interessati allo scambio, al fine di definire i reciproci bisogni ed individuare le regole per attuarli (utente finale e sviluppatori di software, ma anche tra fornitori di software stessi) ed arrivare a portare la proposta nelle sedi opportune per il riconoscimento internazionale.

La definizione di questi standard non è assolutamente compiuta, ma in continua, forte evoluzione. Anche per l'analisi energetica gli standard non sono ancora stati definiti, pur se è noto che si stanno sviluppando proposte. Con il nostro lavoro vogliamo dare un contributo alla loro definizione.

In conclusione, si è visto come quello del BIM è un approccio ancora non completamente integrato all'interno della pratica professionale e del processo delle costruzioni, ma in fortissima crescita in tutto il mondo per i grandissimi vantaggi ad esso legati. Questo lavoro ha tentato di rendere conto dei molti passi avanti che sono

stati fatti e dei molti ancora da fare per i processi di riqualificazione energetica e gestione del patrimonio edilizio esistente attraverso il BIM. La diagnosi energetica, che rappresenta un momento fondamentale per la conoscenza e lo studio dello stato di fatto di un immobile esistente, è parte integrante di questo processo. Restituire in ambiente BIM una diagnosi energetica, 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. **Supportare professionisti, case software e tutti gli attori coinvolti all’interno di questo processo, con linee guida chiare**, è necessario perché si possa cogliere questa grande opportunità ed è quello che questo lavoro si è posto come obiettivo.

7 Riferimenti bibliografici

- [1] <http://bpie.eu/focus-areas/renovating-the-eu-building-stock/>
- [2] <https://www.ingenio-web.it/24921-la-riqualificazione-energetica-degli-edifici-storici-quali-le-problematiche-quali-le-soluzioni>
- [3] Hermelink, A., & al. (2019). Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU. Final Report. Disponibile online: http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1.final_report.pdf © European Union, November 2019 (consultato il 13 Dicembre 2019)
- [4] Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 560 del 01/12/2017, disponibile al link: <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560-del-01122017>
- [5] Reeves, T., Olbina, S., & Issa, R. (2015). Guidelines for using Building Information Modeling for energy analysis of buildings. *Buildings*, 5(4), 1361-1388.
- [6] U.S. General Services Administration (GSA). GSA BIM Guide 05—Energy Performance. Version 2.1. Disponibile al link: http://www.gsa.gov/portal/mediaId/227119/fileName/GSA_BIM_Guide_05_Version_21.action (consultato il 15 Gennaio 2019).
- [7] McGraw-Hill Construction, "SmartMarket Report: The Business Value of BIM in North America", novembre 2012
- [8] 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>
- [9] Sanhudo, L., Ramos, N. M., Martins, J. P., Almeida, R. M., Barreira, E., Simões, M. L., & Cardoso, V. (2018). Building information modeling for energy retrofitting—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 249-260.
- [10] Bassier, M., Yousefzadeh, M., & Van Genechten, B. (2015). Evaluation of data acquisition techniques and workflows for Scan to BIM. In *Geo Bussiness*, Date: 2015/05/27-2015/05/28, Location: London. Geo Bussiness; London.
- [11] Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle A. (2010), Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829–43.
- [12] <https://financesonline.com/building-information-modeling/>
- [13] Andriamamonjy, A., Saelens, D., & Klein, R. (2019). 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.
- [14] Hemsath, T. Conceptual Energy Modeling for Architecture, Planning and Design: Impact of Using Building Performance Simulation in Early Design Stages. In *Proceedings of the BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, 26–28 August 2013; pp. 376–384.
- [15] Abanda, F. H., and L. Byers. "An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)." *Energy* 97 (2016): 517-527.
- [16] UNI/TS 11300 - Prestazioni energetiche degli edifici.
- [17] UNI EN ISO 52016:2018 - Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti.
- [18] UNI EN ISO 13790 - Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento.
- [19] Katsigarakis, K., Giannakis, G., Lilis, G., N., & Rovas, D., V. (2019), An IFC data preparation workflow for building energy performance simulation. 2019 European Conference on Computing in Construction, doi: 10.35490/EC3.2019.188

- [20] <http://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>
- [21] <https://www.logical.it/energetica/il-software-bim-per-la-certificazione-energetica-il-progetto-la-contabilizzazione-e-la-diagnosi-degli-edifici>
- [22] <https://www.acca.it/software-certificazione-energetica>
- [23] <https://www.edilclima.it/software-termotecnica/prog-termotecnica-energetica/scheda/700>
- [24] <https://www.edilizianamirial.it/software-certificazione-energetica/>
- [25] <http://cypetherm-ce.cype.it/>
- [26] <https://www.mc4software.com/prodotti/plugin-per-revit/mc4energy-for-revit/index.php#.Xa1dTegzaUI>
- [27] <https://www.blumatica.it/software/efficienza-energetica-e-acustica/software-certificazione-energetica-degli-edifici-ape-ed-aqe/>
- [28] <https://www.italsoft.net/software-certificazione-energetica/>
- [29] http://www.idronicaline.net/index.php?id_sez=soft&id_soft=00002
- [30] https://www.geonetwork.it/euclide_certificazione_energetica/
- [31] <https://www.lex10professional.it/page.aspx?ID=1>
- [32] <https://www.analistgroup.com/it/prodotti/soluzione-certificazione-energetica/software-certificazione-energetica>
- [33] <https://www.topoprogram.it/home/prodotti-software/prodotti-software-altro/energetika-2000/>
- [34] <https://www.ape-online.it>
- [35] <http://www.masterclima.info/page/Software.aspx>
- [36] <http://www.docet.itc.cnr.it/>
- [37] <https://www.anit.it/leto/>
- [38] Calabrese, N., (2018) Il BIM per la Diagnosi Energetica degli edifici. Interoperabilità dei software nell'ambito della diagnosi e progettazione energetica di un edificio. Presentazione svolta a Milano, 12/04/2018.
- [39] <http://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/certified-software/>
- [40] <http://www.ibimi.it/ifc-sviluppi-e-prospettive/>
- [41] Miller, E., & Buys, L. (2008). Retrofitting commercial office buildings for sustainability: tenants' perspectives. *Journal of Property Investment & Finance*, 26(6), 552-561.
- [42] M. Poljansek, Building Information Modelling (BIM) standardization, Tech. rep., JRC Technical Reports (2017). doi:10.2760/36471. B
- [43] Cumo, F., Sferra, A., Piras, G., Mancini, F., Barbanera, F., Tiberi, M., Sforzini, V., De Lieto Vollaro, B., Pennacchia, E., & Spiridigliozzi, G., (2016) LA METODOLOGIA BIM COME STRUMENTO PER UNA EFFICIENTE PROGETTAZIONE E GESTIONE DEGLI IMPIANTI DEGLI EDIFICI, Report Ricerca di Sistema Elettrico
- [44] Zhao, X. (2017). A scientometric review of global BIM research: Analysis and visualization. *Automation in Construction*, 80, 37-47.
- [45] Lagüela, S., Díaz-Vilariño, L., Armesto, J., & Arias, P. (2014). Non-destructive approach for the generation and thermal characterization of an as-built BIM. *Construction and Building Materials*, 51, 55-61.
- [46] Majavacca, F., (2016) Applicazione del B.I.M. alla Diagnosi Energetica. Studio delle potenzialità e criticità del processo. Tesi di Laurea. Relatore: Dall'O', G. Correlatore: Panza, A. Corso di laurea in Architettura Ambientale, Politecnico di Milano, A.A 2015/2016.
- [47] <http://biblus.acca.it>
- [48] G. Acampa, M. Grasso, C. M. Parisi, A. Pirrera, (2018), Prove tecniche di interoperabilità: dalla teoria alla pratica - Test for interoperability: from theory to practice, Università degli Studi di Enna "Kore"
- [49] G. Lauro, (2017) Bim:analisi del formato ifc e ottimizzazione della gestione dei dati al fine del cod checking strutturale, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
- [50] DPCM 3 dicembre 2013 (Regole tecniche per il protocollo informatico)- Allegato 2
- [51] ISO 16739:2013 "Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries"

- [52] UNI EN ISO 19650-1:2019 BIM “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 Modeling”
- [53] ISO 29481-1:2016 Building information models — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format
- [54] <https://technical.buildingsmart.org/resources/information-delivery-manual/idm-database/>
- [55] Liebich, T., Stuhlmacher, K., Katranuschkov, P., Guruz R., (2011). BIM Enhancement Specification, Deliverable D2.1 Progetto Hesmos disponibile al link: <http://www.ectp.org/project-database-list/project-details/ict-platform-for-holistic-energy-efficiency-simulation-and-life-cycle-management-of-public-use-facilities/>
- [56] Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods, (2010). Manuale di buildingSMART International, scaricabile al link https://standards.buildingsmart.org/documents/IDM/IDM_guide-CompsAndDevMethods-IDMC_004-v1_2.pdf
- [57] <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>
- [58] <https://technical.buildingsmart.org/standards/mvd/mvd-database/>
- [59] <http://bsdd.buildingsmart.org/>
- [60] ISO 12006-3:2007 Building construction — Organization of information about construction works — Part 3: Framework for object-oriented information
- [61] bSDD Content Guidelines di buildingSMART International disponibili al link <https://docs.google.com/document/d/1YUir07A27IK0UB8ImYoaoLKCUvh1QFG1FfcvvLOYdP0/edit#>
- [62] BS 1192-1:2007, PAS 1192-2:2013
- [63] UNI 11337-1-5:2017
- [64] DM 560/2017 (Decreto BIM)
- [65] D.Lgs 50/2016 (Codice appalti)
- [66] Oice, Rapporto sulle gare BIM 2018 per opere pubbliche, Roma
- [67] Linee guida per la corretta compilazione della sezione tecnica dei Capitolati informativi in riferimento ai formati file, Linee Guida predisposte da buildingSMART Italia, scaricabili al link <https://www.ibimi.it/linee-guida-per-la-compilazione-della-sezione-tecnica-dei-capitolati-informativi-formato-file/>
- [68] <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/corsi-di-formazione-bim/opere-pubbliche-partono-i-corsi-di-formazione-bim>
- [69] MODELLAZIONE E DISEGNO CON BIM PER LA GESTIONE DEGLI EDIFICI PUBBLICI di SONIA NAVARRO BERNAL svolta presso il Dipartimento di Disegno integrale (Rimodellazione) del Politecnico di Torino
- [70] Virtual Archaeology Review, 7(15): 28-35, 2016 © UPV, SEAV, 2015 - BIM OPEN SOURCE SOFTWARE (OSS) FOR THE DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE - Sotiris Logothetis*, Efstratios Stylianidis Faculty of Engineering, School of Spatial Planning & Development, Aristotle University, Thessaloniki, 54124, Greece. slogothet@auth.gr; ssstyl@auth.gr - <http://dx.doi.org/10.4995/var.2016.5864>.
- [71] Mirarchi, C., Pavan A., BUILDING INFORMATION MODELING - Tecnologie digitali nel mondo delle costruzioni - Un’opportunità di sviluppo per tutta la filiera. INGEGNERI - numero 2 | aprile-giugno 2015
- [72] Landolfo R., Losasso M., Pinto M.R., “Innovazione e sostenibilità negli interventi di riqualificazione edilizia. Best practice per il retrofit e la manutenzione” - Alinea, Firenze, 2011.
- [73] Russo Ermolli S., D’Ambrosio V., “The Building Retrofit Challenge. Programmazione, progettazione e gestione degli interventi in Europa / Planning, design and management of interventions in Europe”- Alinea, Firenze, 2012.
- [74] Rinaldi A., “La riqualificazione del tessuto storico di base: il progetto per Brennone 21 a Reggio Emilia” - intervento presentato al Cersaie, Bologna, 2009.
- [75] Bardelli P.G., Coppo S., “ Il cantiere edile. Prassi, innovazione, esperienze”, Dario Flaccovio editore, maggio 2010
- [76] Zambelli E., “Ristrutturazione e trasformazione del costruito” - Il Sole 24 ore, Milano, 2004

- [77] <https://www.vtt.fi/sites/bimeet>
- [78] <https://www.ingenio-web.it/21101-il-bim-e-la-progettazione-innovativa>
- [79] <https://technical.buildingsmart.org/>
- [80] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>
- [81] <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/impl-180213-ifc-handbuch-it.pdf>
- [82] <http://www.ectp.org/project-database-list/project-details/ict-platform-for-holistic-energy-efficiency-simulation-and-life-cycle-management-of-public-use-facilities/>
- [83] <http://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/>
- [84] <https://www.cadlinesw.com/sito/blog/cos-e-ifc-e-cosa-e-necessario-conoscere>
- [85] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/>
- [86] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>
- [87] <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>
- [88] <https://bimconnect.org/en/software/the-bim-collaboration-format-bcf/>
- [89] <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>
- [90] <https://bimconnect.org/en/objects/buildingsmart-data-dictionary/>
- [91] https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML
- [92] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>

8 Abbreviazioni ed acronimi

AEC	Architecture Engineering Construction
AECO	Architecture, Engineering, Construction and Operations
FM	Facility Management
BIM	Building Information Modeling
BEM	Building Energy Model
BCF	BIM Collaboration Format
IFC	Industry Foundation Class
gbXML	Green Building XML
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
WP	Work Package
ACS	Acqua Calda Sanitaria
bSI	BuildingSMART international
bSDD	buildingSMART Data Dictionary
CAFM	Computer Aided Facility Management
CMMS	Computerised Maintenance ManagementCTI Comitato Termotecnico Italiano
IDM	Information Delivery Manual
MVD	Model View Definition
BCF	BIM Collaboration Format
bSDD	buildingSMART Data Dictionary
CDE	Common Data Environment
ACDat	Ambiente di Condivisione dei Dati
LOD	Level Of Detail

9 Appendice A: Tabella estesa: Software italiani per analisi Energetiche

INFORMAZIONI GENERALI			A. ASPETTI BIM-RELATED					B. ASPETTI ENERGETICI				
Modalità di definizione edifici e geometrie e caricamento dati	Altre informazioni utili	Alcune Specifiche	A.1	A.2	A.3	A.4	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6
			Importazione IFC	Modellazione IFC	Esportazione IFC	Certificazione IFC	Simulazioni dinamiche orarie (UNI EN ISO 52016)	Altri metodi di calcolo dinamico	Aggiornamento normativo	Diagnosi Energetica	Analisi delle bollette	Verifiche CAM
1	Importazione BIM da file IFC, modellazione BIM, importazione CAD (.dwg, .dxf) oppure input tabellare	-	Sì	Sì	Sì	No	Sì	No	Sì	Sì	Sì	Sì
2	Importazione BIM da file IFC, modellazione BIM, importazione CAD (.dwg, .dxf) oppure input tabellare	Input 3D e libreria di oggetti BIM per un controllo dinamico delle performance (orientamenti, ombreggiamenti, ponti termici, computo). Collaborazione in cloud per gestire il progetto nel processo BIM.	Sì	Sì	Sì	Sì	No	Sì	Sì	No	No	Sì
3	Importazione "automatica" IFC attraverso plugin dedicato per Revit e aggiornamento automatico dei file IFC modificati su Revit e delle relative impostazioni; Importazione IFC, dwg, dxf e input grafico con vista 3D	Il plug-in consente di specificare in pochi passaggi tutti i dati necessari per la caratterizzazione termica dell'edificio, disegnato mediante Autodesk Revit: dati generali, verifica termoisolometrica, e della massa superficiale, caratteristiche termiche in regime dinamico, ponti termici e trasmittanze infissi, ombreggiamenti	Sì	No	No	No	Sì	No	Sì	Sì	No	Sì
4	Importazione BIM da file IFC attraverso un applicativo specifico. In grado di importare qualsiasi file IFC, visualizzarne ed analizzarne il modello 3D e operare tutte le modifiche necessarie per preparare il modello per l'analisi energetica. Il modello viene, quindi, convertito in automatico in modo da poter essere elaborato ed eventualmente modificato con gli usuali strumenti di analisi energetica. Importazione e modellazione CAD (.dwg, .dxf) oppure input tabellare	- Vani e zone - Associazione proprietà fisiche alle entità del modello BIM - Collegamento dinamico	Sì	No	No	No	No	Sì	Sì	Sì	No	No
5	Importazione, modellazione ed esportazione IFC attraverso l'utilizzo di una applicazione gratuita sviluppata per la realizzazione e il mantenimento di modelli IFC di edifici (IFC Builder); possibile anche integrazione con Revit tramite plugin; grande attenzione sui temi dell'OpenBIM.	è un applicativo integrato nel flusso di lavoro Open BIM mediante lo standard IFC. (IFC Builder/Complemento OpenBIM per Revit)	Sì	Sì	Sì	No	No	Sì	No	No	No	No
6	Consente importazione solo da Revit.	Plugin per Revit. Calcolo energetico degli edifici in ambiente Revit. arricchisce i componenti BIM dell'edificio con le informazioni relative alle caratteristiche energetiche e integra in Revit i comandi per APE e verifiche, calcolo potenza, Diagnosi, ripartizioni	Sì	No	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No	No

INFORMAZIONI GENERALI			A. ASPETTI BIM-RELATED				B. ASPETTI ENERGETICI						
Modalità di definizione edifici e geometrie e caricamento dati	Altre informazioni utili	Alcune Specifiche	A.1	A.2	A.3	A.4	Simulazioni dinamiche orarie (UNI EN ISO 52016)	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6
			Importazione IFC	Modellazione IFC	Esportazione IFC	Certificazione Bii	Altri metodi di calcolo dinamico	Aggiornamento normativo	Diagnosi Energetica	Analisi delle bollette	Verifiche CAM		
7	Importazione CAD (.dxf, .dwg), esiste un software di modellazione BIM ma non integrato con il corrispondente utilizzato per le analisi termiche	APE, Legge 10, Verifiche ST/FV (D. Lgs 28/2011), interventi migliorativi APE, moduli regionali (esportazione .xml) per APE e verifiche Legge 10), potenza termica invernale	No	No	No	No	No	No	No	Sì	Sì	No	No
8	Importazione e modellazione CAD	La casa software utilizza una piattaforma BIM di progettazione e collaborazione in cloud, ma non vi è incluso il software di analisi energetica	No	No	No	No	No	No	Sì	N/A	Sì	No	No
9	Input solo tabellare	-	No	No	No	No	No	No	Sì	No	Sì	No	No
10	Importazione CAD (.dxf, .dwg) e input tabellare. Connessione a Revit, Nemescheck sviluppata dalla casa software, ma solo per gli aspetti connessi al computo metrico estimativo	Diagnosi sviluppata in un software a parte, integrabile a quello "base".	No	No	No	No	No	No	No	No	Sì	No	No
11	Importazione e CAD integrato	-	No	No	No	No	No	No	No	Sì	No	No	No
12	Importazione .dwg e .dxf e modellazione CAD	-	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

INFORMAZIONI GENERALI																					
				A. ASPETTI BIM-RELATED				B. ASPETTI ENERGETICI													
Modalità di definizione edifici e geometrie e caricamento dati				Altre informazioni utili				Alcune Specifiche				A.1	A.2	A.3	A.4	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6
												Importazione IFC	Modellazione IFC	Esportazione IFC	Certificazione Bim	Simulazioni dinamiche orarie (UNI EN ISO 52016)	Altri metodi di calcolo dinamico	Aggiornamento normativo	Diagnosi Energetica	Analisi delle bollette	Verifiche CAM
13	Importazione e modellazione CAD	-	APE	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
14	Input solo tabellare	-	APE	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
15	Input solo tabellare	-	APE, esportazione .xml, progetto	No	No	No	No	No	No	No	No	N/A	No	No	No	No	No	No	No	No	No
16	Input solo tabellare	-	Calcolo semplificato	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
17	-	-	Legge 10, APE, esportazione .XML, diagnosi energetica, analisi del fabbisogno energetico dei servizi di H, C, DHW, V, L, T.	No	No	No	No	No	No	No	No	N/A	N/A	No	No	No	No	No	No	No	No