POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

Tesi di Laurea Magistrale in Architettura,
Costruzione e Città

BIM VPL LEED

BUILDING INFORMATION MODELLING and VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE for LEADERSHIP ENERGY ENVIRONMENTAL DESIGN

SMART-PARK in TROMPONE

Relatore: Prof.ssa Anna Osello
Correlatore: Ing. Matteo Del Giudice

Candidato: Gianvito Marino Ventura

Torino, Febbraio 2019

2

Alla mia famiglia

<<Nella lunga storia del genere umano, e anche del genere animale, hanno prevalso coloro che hanno imparato a collaborare ed a improvvisare con più efficacia.>>
Charles Robert Darwin

I N D I C E

Abstract 8

1.INTRODUZIONE

.1 PREMESSA

1.1.1 Digitalizzazione 12

1.1.2 Lo sviluppo sostenibile.....16

.2 B I M

1.2.1 Passato, presente e futuro 22

1.2.2 CAD vs BIM 28

1.2.3 Nuove dimensioni 32

1.2.4 La Normativa Italiana.....36

1.2.5 Dalla teoria alla pratica.....41

1.2.6 Dynamo 49

.3 L E E D

1.3.1 Missione e protocolli.....54

1.3.2 GBC Historic Building.....59

.4 CASO STUDIO

1.4.1 Il Santuario del Trompone 67

1.4.1 BIM for Health.....70

2. METODOLOGIA

.1 FASE DI PROGETTO

2.1.1 Scelte progettuali 76

2.1.2 Modellazione (3D)..... 87

2.1.3 Analisi di sostenibilità (6D) 95

.2 SISTEMA DI VALUTAZIONE

2.2.1 Massimo punteggio ottenibile..... 102

2.2.2 Visual Programming Process..... 105

3. RISULTATI

.1 OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO

3.1.1 Progetto finale..... 126

3.1.1 BIM Workflow 1269

4. CONCLUSIONI

.1 Sviluppi futuri..... 126

Riferimenti 141

Ringraziamenti 136

ABSTRACT

In this historical period, the construction sector is experiencing a profound mutation activated by two processes: the digitization of work and the need for an increasingly sustainable development. In this context the BIM and the LEED system play a major role and become increasingly common methodologies in the field of architecture.

The general objective of the work is to show the potential and benefits that can be found in the sustainable design thanks to the application and interaction of these new project control techniques.

The BIM methodology has been tested by “BIM for Health” group in the redevelopment of the historic complex of Trompone, a complex health structure, starting a vigorous regeneration process, improving formal and technological aspects.

The project, in this case, concerns an outdoor area dedicated to parking with solutions for the supply of renewable energy and the management of rainwater.

The sustainability of the project is verified through the GBC Historic Building protocol to obtain LEED certification for interventions on historic buildings. In this context a Visual Programming Language is used: through the management of internal and external data creating an alternative conformity path that aims to verify the sustainability of the intervention and calculate the relative LEED score.

ABSTRACT

In questo periodo storico il settore delle costruzioni vive una profonda mutazione attivata da due processi: la digitalizzazione del lavoro e la necessità di uno sviluppo sempre più sostenibile. In questo contesto il BIM e il sistema LEED svolgono un ruolo principale e diventano metodologie sempre più comuni nel campo dell'architettura.
Obiettivo della tesi è mostrare le potenzialità e i benefici riscontrabili nella progettazione sostenibile attraverso l'applicazione e l'interazione di queste nuove tecniche di controllo del progetto. La metodologia BIM viene testata dal gruppo "BIM for Health" per la riqualificazione del complesso storico del Trompone, una struttura sanitaria di natura articolata, innescando un vigoroso processo di rigenerazione, migliorando aspetti formali e tecnologici. Il progetto, in questo caso, riguarda un'area esterna dedicata a parcheggi con soluzioni per il fornimento di energia rinnovabile e la gestione delle acque di dilavamento meteorico.
La sostenibilità dell'intervento viene verificata tramite protocollo GBC Historic Building ottenendo la certificazione LEED per interventi su edifici storici. In questa circostanza viene sperimentato un linguaggio di programmazione visuale: attraverso la gestione delle informazioni interne ed esterne al modello viene un percorso di conformità alternativo che mira a verificare la sostenibilità dell'intervento e calcolare il relativo punteggio LEED.

1

INTRODUZIONE

.1 PREMESSA

.2 B I M

.3 L E E D

.4 CASO STUDIO

<<Il futuro inizia oggi, non domani.>>
K.J.W.

1.1.1 Digitalizzazione

Negli ultimi anni la digitalizzazione dei meccanismi, delle procedure quotidiane, degli ambienti di lavoro e delle professioni rappresenta una trasformazione tecnologica con cui bisogna confrontarsi in ogni settore e che sta investendo tutti i domini dell'economia: dalla produzione al consumo, dal trasporto alle comunicazioni. L'introduzione di dispositivi capaci di elaborare enormi masse di dati e di comunicare tra loro a velocità fino ad ora impensabili ha comportato non solo un cambiamento ma una vera e propria quarta rivoluzione industriale chiamata industria 4.0.

Secondo "The Future of Work: Jobs and Skills in 2030" [1], un report redatto dal dipartimento del governo inglese per l'occupazione e le competenze, nell'era digitale, l'intelligenza artificiale, l'automazione, la realtà aumentata o virtuale e la progettazione informatica sono la forza che distruggerà posti di lavoro ma ne creerà molti altri. Per dare supporto a questa evoluzione bisogna acquisire gli strumenti necessari e formare nuove figure professionali che sappiano sfruttare al massimo le nuove tecniche. I vantaggi sono molti e rilevanti: la competitività rispetto alla concorrenza locale, l'aumento della produttività, il miglioramento della qualità interna del lavoro, il perfezionamento del prodotto finale e della conseguente percezione del cliente. <<Questo

nuovo passo potrebbe far tornare a crescere anche gli occupati nel settore, e non solo le imprese, se solo si riuscisse a soddisfare la domanda di nuovi profili professionali, orientando il sistema accademico e incentivando le imprese al reskilling.>> [2]

Un mutamento che nel settore AEC, già da qualche anno, si è tradotto in nuove metodologie di lavoro come il Building Information Modeling, a discapito delle tecniche di progettazione tradizionali assistite da strumenti CAD. Questa nuova metodologia consente di ridurre al minimo il margine di errore apportando un notevole miglioramento dell'intero processo costruttivo, dalla fase di progettazione a quella di gestione e manutenzione passando per quella di cantierizzazione e costruzione.

Da un lato ci sono grandi opportunità per il sistema imprenditoriale italiano che nell'ultimo decennio, soprattutto nel settore edile, ha vissuto una profonda crisi, con la possibilità di creare una nuova ricchezza; dall'altro lato è essenziale confrontarsi con la sostenibilità sociale di un nuovo sistema economico. è necessario colmare la differenza di velocità tra le esponenziali trasformazioni tecnologiche e le azioni politiche in un contesto dove <<ciò che rende tutto più complesso è che ci troviamo in una fase in cui possiamo dire che il passato non è passato ma il futuro è già arrivato: nel mondo del lavoro convivono infatti vecchi e nuovi

mestieri, ai quali sarà necessario prestare la stessa attenzione per garantire a tutti garanzie ed opportunità.... I “nativi digitali”, sono, a prima vista, candidati ideali per cogliere i benefici occupazionali di industria 4.0. Il loro approccio diretto alle tecnologie, essenziali nello sviluppo di industria 4.0, può rappresentare un vantaggio decisivo e un elemento qualificante della nuova forza lavoro>>. [3]

Per beneficiare davvero di queste opportunità e ottenere cambiamenti quantitativi e qualitativi nelle prestazioni lavorative, soprattutto nel settore edilizio, è necessaria una totale collaborazione tra i diversi professionisti che partecipano al processo: solo così potremmo ottenere un notevole vantaggio di mercato.

---

[1] Daheim, Cornelia & Störmer, Eckhard & Patscha, Cornelius & Prendergast, Jessica & Rhisiart, Martin, “The Future of Work: Jobs and Skills in 2030”, UK Commission for Employment and Skills, 2014

[2] Luisa Bordoni e Maurizio Mamoli, “Il digitale in Italia, Competenze digitali: le iniziative per colmare i gap”, 2017

[3] Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, “Il lavoro che cambia Digitalizzazione, automazione e futuro del lavoro”

[*] Mark Prensky, “Digital Natives, Digital Immigrants”, From On the Horizon, MCB University Press, Vol. 9 No. 5, 2001

Figura 1: "*Questo è Oasis. Un posto in cui il limite della realtà è la tua immaginazione.*" Wade, protagonista di "Ready Player One" sulla Realtà virtuale. Film di Steven Spielberg, 2018, tratto dal romanzo best seller di Ernest Cline.

1.1.2 Lo sviluppo sostenibile

Un altro tema ormai consolidatosi alla fine del secolo scorso ma che assume sempre maggior consapevolezza è lo sviluppo sostenibile per ridurre l'impronta globale dell'umanità preservando la vita e la sua naturale evoluzione. Il premio Nobel per la chimica, Paul Crutzen ha definito quest'epoca con il nome di *<<Antropocene, dove la forza siamo noi, capaci di spostare più materia di quanto abbiano fatto vulcani, venti ed ere glaciali nelle precedenti epoche geologiche>>*[4] Un dato allarmante è che il nostro impatto sull'ambiente crescerà in quanto la popolazione mondiale e le sue attività aumenteranno e occuperanno aree sempre più vaste. Non possiamo più tornare indietro, possiamo però studiare come gestire e controllare le dinamiche dei sistemi naturali e gli effetti dell'intervento della pressione umana su di essi.

Secondo la definizione proposta nel rapporto "Our Common Future" pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, del Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente, per sviluppo sostenibile si intende:
<<uno sviluppo in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri>>. [5]

Nei primi anni del nuovo secolo la nozione di sviluppo sostenibile non è stata accostata solo alla tutela dell'ambiente ma anche ad altri fattori interdipendenti tra cui la crescita economica e lo sviluppo sociale. Come indica il WWF nel suo "Living Planet Report", per ottenere uno sviluppo delle società umane che sia sostenibile è necessario che l'intervento umano sia limitato entro le capacità di carico dei sistemi naturali conservandone la loro vitalità e la loro resilienza; il progresso tecnologico per la produzione di beni e servizi venga indirizzato all'incremento dell'efficienza piuttosto che all'incremento del flusso di energia e materie prime; i livelli di prelievo delle risorse non rinnovabili ecceda le loro capacità rigenerative; l'emissione di scarti e rifiuti (solidi, liquidi e gassosi) dovuti al metabolismo dei sistemi sociali non ecceda la capacità di assimilazione dei sistemi naturali. [6]

Soprattutto il sistema energetico mondiale, oggigiorno si trova ad un importante punto di svolta: domanda ed offerta di energia diventano sempre meno sostenibili per cui il benessere futuro dell'ambiente e dell'umanità dipende da come intendiamo affrontare questa problematica e quindi come intendiamo garantire una fornitura costante, affidabile ed economicamente accessibile delle risorse energetiche.

In architettura oggigiorno, l'impronta ecologica, le prestazioni dell'edificio e la verifica della

compatibilità ambientale di una nuova costruzione o qualsiasi intervento paesaggistico o di restauro, viene verificata attraverso sistemi multicriterio come LEED (Leadership in Energy and Environmental Design); un sistema standard di certificazione promosso per la prima volta nel 1998 da US Green Building Council (USGBC), un'associazione no profit statunitense. Applicato in oltre 140 paesi nel mondo, lo standard LEED è stato introdotto anche in Italia grazie al lavoro di Green Building Council Italia che ha creato una versione locale, indicando i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili durante l'intero ciclo di vita.

[4] Crutzen P.J. The "Anthropocene". In: Ehlers E., Krafft T. (eds) Earth System Science in the Anthropocene. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006

[5] Erling Holden, Kristin Linnerud, David Banister, "Sustainable development: Our Common Future revisited" Global Environmental Change, Volume 26, 2014

[6] WWF. 2018. Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.

Figura 2: Riqualificazione della Torre Zucchetti, un progetto di Marco Visconti, Lodi. Esempio virtuoso di intervento sostenibile certificato LEED

1

INTRODUZIONE

.1 PREMESSA

.2 BIM

.3 LEED

.4 CASO STUDIO

<<Sono le procedure che ci dividono dalle malvagie forze del caos.>>
Buzz Lightyear (Toy Story)

1.2.1 Passato, presente e futuro

L'industria edile ha vissuto e vive ancora un calo di produttività a causa di metodi di lavoro ormai inefficienti basati sullo scambio di informazioni cartacee con possibili incomprensioni ed errori. La mancanza di coordinamento, l'aumento dei tempi e del budget finale hanno spinto ad un cambiamento radicale dell'intero processo auspicando ad una qualità decisamente più elevata.
Il primo a parlare di modelli virtuali dell'edificio è stato Charles M. Eastmann, ancora oggi riconosciuto tra i massimi esponenti in materia, in un articolo dal titolo "An outline of the building descrition system" pubblicato nel 1974 nel quale si legge:

<<Many of the costs of design, constructipn,and building operation deriVe from the reliance on drawings as the deScription of record of the building. This paper outlines as a replacement the design of a computer system useful for storing and manipulating design.information at a detail allowing design, construction, and operational analysis. A building is considered as the spatial composition of aset of parts. The system, called Building DeScription System (BDS) has associated with it:
(a) a means for easy graphic entering of arbitrarily cpmplex element shapes;
(b) an interactive_graphic language for editing and composing element arrangements;

(c) hardcopy graphic capabilities that can:produce perspective or orthographic' drawings of high quality;
(d) a sort and format capability allowing sorting of the database by attributes, e.g. material type, /supplier, or composing a dataset for analysis. The system runs. on a Digital Equipment PDP-11/20, with extended disc memory and graphics.>>[6]

---

[6] Charles M. Eastmann and cthers, "An outline of the building descrition system", Settembre 1974

Nasceva così un nuovo scenario nel mondo delle costruzioni il quale si è concretizzato anche grazie al progresso della tecnologia che ha consentito di sviluppare strumenti sempre più adeguati alle effettive esigenze della produzione edilizia e si auspica in un continuo miglioramento.

Per comprendere meglio cos'è il BIM è necessario capire prima cosa non è. Sin dall'inizio, nel settore delle costruzioni è stato utilizzato il disegno manuale per la rappresentazione del progetto e per la comunicazione dei dati necessari alla realizzazione del manufatto.
Negli anni '70 con l'avvento dei primi sistemi CAD, sono state le industrie automobilistiche e aereospaziali a intuirne le potenzialità e a collaborare con le softwarehouse per implementare e migliorare il sistema. Successivamente, col calare dei costi e la diffusione dei personal computer, anche nell'industria delle costruzioni PC e

stampanti hanno sostituito matita e carta rendendo il processo di progettazione più rapido e riducendo gli errori.

Questo approccio, comune fino agli anni ‘90, presenta un livello di maturità del BIM pari a 0, ovvero un tavolo da disegno pur sempre digitale ma senza la possibilità di collaborare con gli altri soggetti coinvolti nel processo progettuale e dove l’emissione e distribuzione di disegni e informazioni vengono ancora in forma cartacea. Alla fine degli anni ’90 la modellazione 3D ha supportato la sola visualizzazione del progetto nelle prime fasi di concept, mentre disegni 2D e documentazione diventano file gestiti in un ambiente informativo comune (Common Data Environment) nonostante non ci sia collaborazione tra le diverse discipline le quali pubblicano e gestiscono autonomamente i propri dati raggiungendo il livello BIM 1.

Nei primi anni del 2000, con la conferma della modellazione digitale parametrica e gli innumerevoli progressi delle softwarehouse, è stato introdotto il livello di maturità BIM 2, oggi il più diffuso, dove ogni utente coinvolto nel progetto usa un proprio modello al quale è associato un database di informazioni che viene condiviso attraverso l’utilizzo di un formato comune come l’attuale IFC

Industry Foundation Class) e sui quali è possibile condurre controlli e interrogazioni in tempo reale.

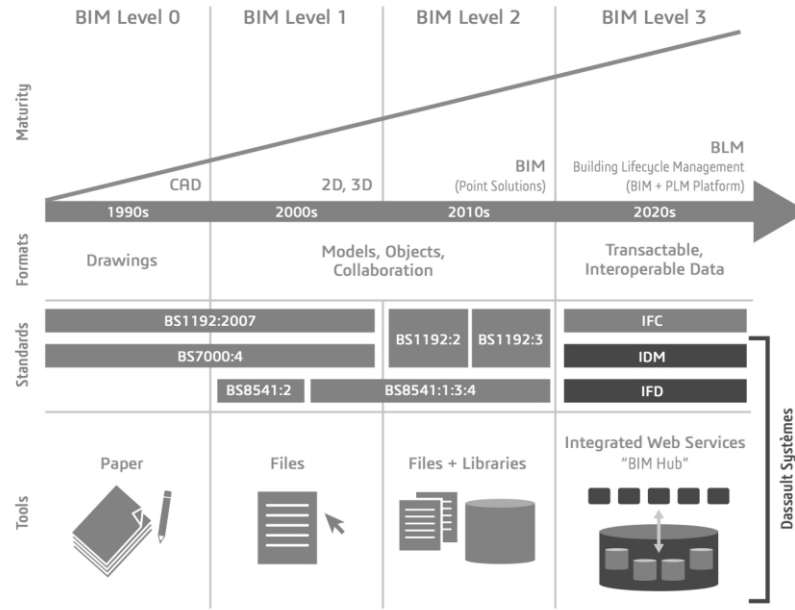


Figura 3: Rappresentazione grafica del passaggio dai sistemi CAD (BIM Level 0) a sistemi integrati (BIM Level 3).

Il livello BIM 3 rappresenta il grado di maturità maggiore immaginato finora, in cui si concretizza la piena collaborazione di tutte le discipline mediante la condivisione di un unico modello centrale attraverso un server locale, evitando qualsiasi informazione contraddittoria e riducendo al minimo

il margine di errore garantendo qualità ed efficienza nell'intero ciclo di vita del manufatto.

Uno studio australiano "National Guidelines for Digital Modeling" [8] sostiene che il prossimo step consiste in un processo integrato, completamente aperto dove vi è una condivisione totale dei dati abilitata per servizi web conformi alle norme IFC gestiti da un server in maniera collaborativa.

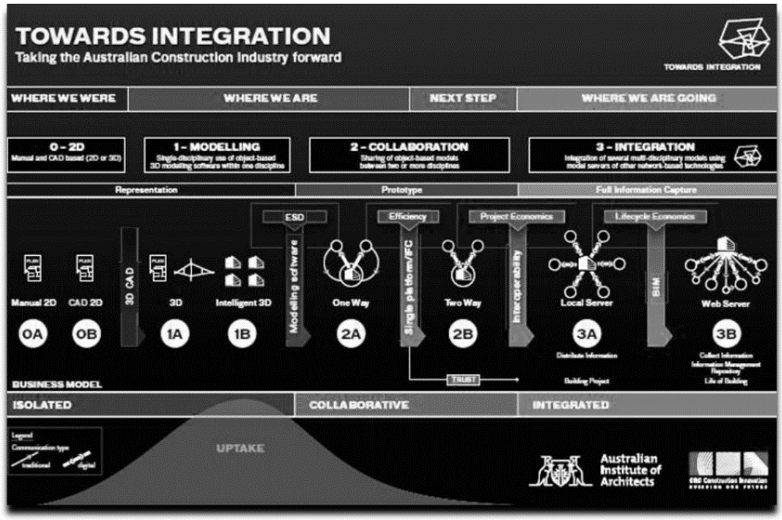


Figura 4: BIM integration map - National Guidelines for Digital Modelling CRC-CI 200

Questo significa avere un sistema paese che ti consente di lavorare in collegamento digitale in modo efficace, con una banda larga diffusa e un Wifi reale nei cantieri; quindi non basta la volontà del singolo ma è una crescita che deve riguardare l'intero sistema.

Il BIM dunque non è un'applicazione software, non è una semplice evoluzione del disegno 2D o un'altra modalità di rappresentazione 3D. Il BIM è un nuovo modo di lavorare basato sulla digitalizzazione e sulla condivisione delle informazioni che sviluppa valore economico migliorando la vita delle persone e l'ambiente in cui viviamo. Nei paesi del nord Europa come Inghilterra e Scandinavia, negli Stati Uniti, nel Canada e in Australia, il BIM è ormai prassi comune ed è in uno stadio ben avanzato. In Italia negli ultimi anni sono stati definiti i primi standard e vi sono importanti novità che promuoveranno ulteriormente la diffusione.

La Commissione pare orientata a proporre un calendario impostato in tre momenti, per permettere al settore delle costruzioni di adeguarsi e formarsi gradualmente: un primo obbligo dovrebbe partire dall'anno corrente, per le grandi opere di importo superiore a 100 milioni, una seconda fase riguarderà il triennio 2019-2021 dove l'obbligo dovrebbe estendersi ad altre tipologie di opere individuate non per importo, ma per la complessità; la terza fase dovrebbe scattare dal 2022 e prevedere l'uso del BIM per tutte le tipologie di costruzioni, eccetto residenziale.

[7] Marty R., "End-To-End Collaboration Enabled by BIM Level 3*: An Architecture, Engineering & Construction Industry Solution Based on Manufacturing Best Practices", 2014*
[8] Fussel, Tom, Beazley, Scott, Aranda-Mena, Guillermo, Chevez, Agustin, Crawford & other, David "National guidelines for digital modelling", 2009.

1.2.2 CAD vs BIM

Mentre i sistemi CAD hanno cambiato sostanzialmente il modo di disegnare, il BIM ha cambiato drasticamente il modo di progettare. La premessa originale del sistema CAD infatti era automatizzare il compito di redazione attraverso geometrie 2D come linee, archi, poligoni etc... In questo contesto, un muro è rappresentato semplicemente con due linee parallele con un pattern al loro interno. Per attribuire un significato ad elementi grafici si è introdotto il sistema dei "layer" che ha consentito di raggruppare elementi correlati. Inoltre, come per il disegno a mano, il CAD si avvale di diverse rappresentazioni (pianta, prospetti, sezioni...). Allo stesso modo, il sistema CAD 3D si è concentrato sulla creazione di geometrie a supporto della visualizzazione e per la creazione di render.

La ricerca, ormai consolidata, sul BIM si è concentrata sullo sviluppo di strumenti software per la creazione di rappresentazioni digitali che abbiano un comportamento più simile a quello dell'edificio reale. La modellazione digitale parametrica ha consentito la realizzazione di un modello virtuale costituito da oggetti la cui geometria non viene editata manualmente, ma tramite associazione di regole e parametri.
Un modello BIM infatti, è costituito da elementi edilizi tridimensionali con caratteristiche fisiche e funzionali le quali differiscono per disciplina

(architettonica, strutturale e impiantistica) e che nel complesso aggiungono al modello un database ricco di informazioni le quali semplificano la stipulazione di abachi, computi metrici, simulazioni energetiche ma anche la gestione del cantiere, della costruzione e della manutenzione del manufatto.

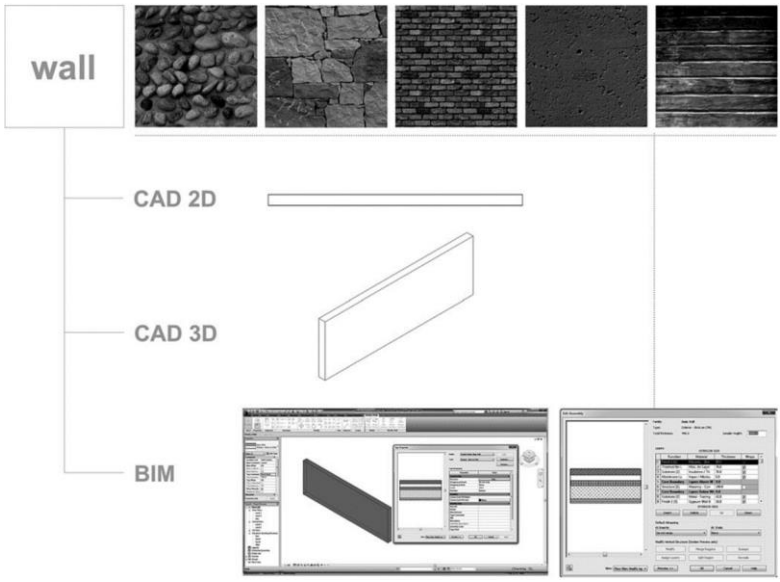


Figura 5: Schema concettuale di come può essere rappresentato un muro in CAD 2D / 3D o in un modello BIM.

I software parametrici permettono dunque di immagazzinare nel progetto una serie di informazioni relative alla geometria, ai dati spaziali dell'edificio, alle proprietà, alla quantità, al materiale e le sue caratteristiche. Esse si aggiornano automaticamente in base ai cambiamenti di singole parti del modello: ad ogni modifica del modello corrisponde un uguale modifica dei dati associati e viceversa.

La differenza più importante probabilmente è nella metodologia di lavoro: il BIM è basato sulla condivisione dei dati, ovvero le informazioni sono interscambiabili tra i diversi software attraverso nuovi formati che facilitano la comunicazione tra i diversi stakeholder e riducono ogni tipo di incomprensione ed errore.

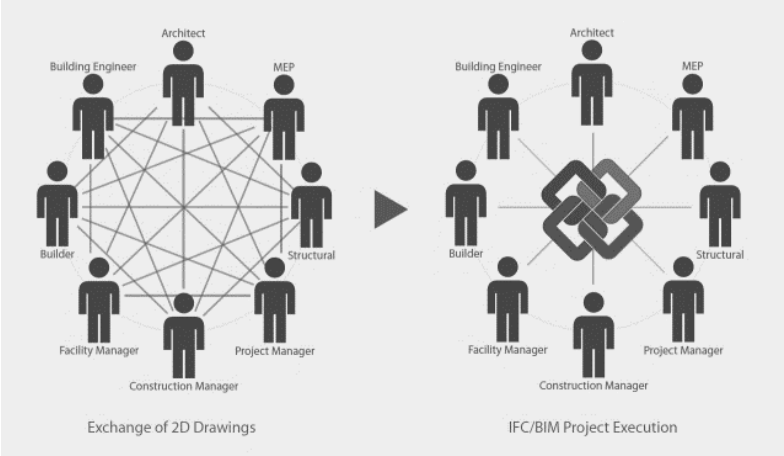


Figura 6: Schema concettuale di come si scambiano le informazioni nel processo tradizionale e in quello innovativo.

La trasformazione del processo tradizionale lineare e sequenziale in un processo innovativo circolare e interattivo dove progettazione e i vari ambiti ad essa connessa sono integrati, risulta più efficace: ottimizza tempi e costi di realizzazione, riscontrando benefici durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, sia negli aspetti progettuali, sia nelle fasi di lavoro e cantierizzazione, sia nella manutenzione post-costruzione.

Anna Osello, professore associato di Disegno presso il Politecnico di Torino, conduce con il suo gruppo da diversi anni ricerca su questi temi e a tal proposito scrive:

<<Come attività, il BIM è dunque costituito dall'insieme di processi applicati a realizzare, gestire, ricavare e comunicare informazioni tra soggetti a livelli differenti, utilizzando dei modelli creati da tutti i partecipanti al processo edilizio, in tempi diversi ed anche per scopi non uguali tra loro, per garantire qualità ed efficienza attraverso l'intero ciclo di vita del manufatto. Invece il BIM come oggetto è una inequivocabile rappresentazione digitale... costituita da oggetti digitali corrispondenti alle componenti del mondo reale come muri, porte e finestre con associate relazioni, attributi e proprietà.>> [9]

Per queste due principali innovazioni all'acronimo BIM sono state associate negli anni parole differenti, tese a sottolineare aspetti che di volta in volta sembravano maggiormente caratterizzanti: "Building Information Model" riferendosi al nuovo modo di disegnare e intendere un modello virtuale; "Building Information Modeling" riferendosi alla nuova metodologia basata sull'interoperabilità.

[9] Osello A., "Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti", Politecnico di Torino, Flaccovio Dario, 2012.

1.2.3 Nuove dimensioni

Una volta compreso che il BIM ruota attorno ad un modello digitale integrato in cui ogni professionista coinvolto nel processo può inserire, condividere ed estrarre informazioni riguardo al progetto, è necessario capire come questa collaborazione multidisciplinare possa portare vantaggi durante l'intero iter progettuale, costruttivo e post realizzazione. I benefici riscontrabili sono una diretta conseguenza delle nuove dimensioni che un modello virtuale BIM mette a disposizione del progettista:

Figura 7: le dimensioni del BIM

- **3D**: la modellazione digitale parametrica come la modellazione 3D aiuta la visualizzazione e dunque la comprensione del progetto, ma considerando il resto di discipline tecniche coinvolte non si limita ad una semplice resa realistica dell'aspetto estetico del progetto ma anche ad una semplificazione della fase di progettazione con una gestione dell'attività nota come "model checking". Questa attività consiste nella verifica dell'aderenza del modello alle richieste progettuali e normative e nell'analisi preventiva di eventuali conflitti geometrici presenti nel modello. Inoltre, è possibile estrapolare disegni 2D come piante, prospetti e sezioni i quali si aggiornano automaticamente con modifiche apportate al modello.

- **4D**: La programmazione temporale consente al progettista di affidare al modello fasi come "stato di fatto", "stato di progetto" e ottimizzare l'aspetto legato al "Construction Management", ovvero la pianificazione dei tempi, le attività di coordinamento di costruttori e produttori. Infatti, tramite la costruzione di WBS (Work Breakdown Structure) è possibile scomporre in maniera analitica il progetto in parti elementari appositamente pensate per essere collegate a quanto modellato rendendo così possibile

una programmazione dinamica per organizzare e visualizzare facilmente il progredire dell'opera.

- **5D**: L'analisi dei costi o la computazione mediante modelli BIM è sicuramente più efficiente mediante un modello da cui è possibile estrarre ogni informazione riguardante la geometria e la quantità di un materiale a cui rimane associare le voci di elenco prezzi unitari e determinare l'importo totale: secondo la Stanford University i computi in BIM possono essere realizzati l'80% più rapidamente e con un margine di errore del 3%. Altra cosa utile è nuovamente l'aggiornamento automatico dei dati in maniera parallela a come evolve la progettazione riducendo eventuali errori, prolungamenti dei tempi e costi aggiuntivi.

- **6D**: Anche la sostenibilità diventa una dimensione; compito dell'architetto consiste nel poterla controllare, quantificare e verificare. Dati sempre più numerosi e prossimi alla realtà risultano input perfetti per analisi strutturali, illuminotecniche ed energetiche in maniera dinamica. Inoltre, è possibile svolgere analisi LCA (Life Cycle Assessment) o valutazioni di impronta ecologica come la certificazione LEED o il protocollo ITACA ponendo le giuste attenzioni

al benessere dell'uomo e dell'ambiente sin dalle fasi iniziali di progetto.

- **7D**: L'ultima dimensione riguarda il "Facility Management ", ovvero la manutenzione, la dismissione o il rinnovamento dell'opera, operazioni che risultano più efficaci grazie al modello "As-built", un modello quanto più fedele alla realtà che contiene informazioni aggiornate in base a ciò che è stato effettivamente realizzato in cantiere.

Da queste dimensioni scaturiscono nuove opportunità per architetti, ingegneri e chiunque partecipi direttamente o indirettamente all'intero settore AEC: l'applicazione della metodologia BIM con l'ottimizzazione del flusso informativo consente di semplificare dell'acquisizione dei dati di ciò che è già costruito, ciò che deve essere costruito o ciò che ancora deve essere progettato, fornendo gli input necessari per garantire la qualità dei risultati.

---

[*] http://biblus.acca.it/focus/le-7-dimensioni-del-bim/

1.2.4 La Normativa Italiana

In questo contesto, risulta fondamentale per gli attori coinvolti nel processo, stabilire a priori una strategia di lavoro, l'obiettivo e l'uso del modello BIM e quindi quali informazioni dovranno essere inserite all'interno del modello e con quale livello di approfondimento a seconda dell'esigenza.

La più recente normativa italiana, che si rifà a quella anglosassone U.S.A. e U.K., è la UNI 11337:2017 "*Edilizia e infrastrutture – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni (BIM)*" [10] consta di 8 parti e sono:

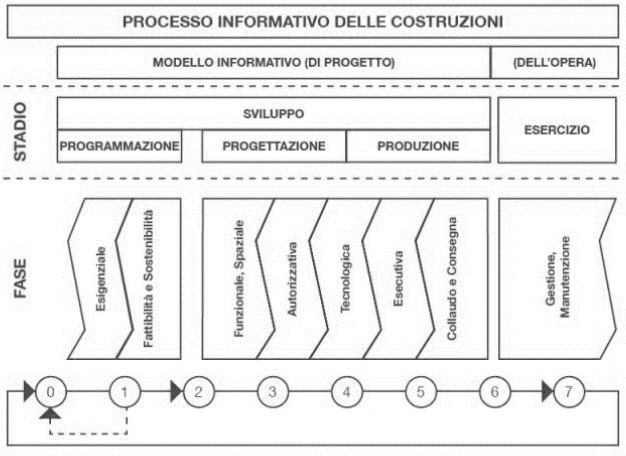


Figura 8: Classificazione del processo informativo delle costruzioni in stadi e fasi secondo la normativa italiana UNI 11337:2017

- **Parte 1 - Modelli, elaborati ed oggetti**: in questa sezione vengono introdotti i livelli di

maturità digitale, la suddivisione del processo in stadi e fasi e la strutturazione dei dati in informazioni e delle informazioni in contenuti informativi attraverso l'introduzione del concetto di virtualizzazione e quindi la differenza di dati statici e dati relazionabili, ovvero dati che possono essere rielaborati dalla macchina.

- **Parte 2 - Denominazione e classificazione**: partendo da strutture internazionali, vengono descritti nuovi modi di denominare e classificare oggetti, file, opere, attività e soggetti che intervengono nel processo delle costruzioni in modo da standardizzarle in tutto il territorio e favorire il recupero, l'utilizzo e l'ottimizzazione delle informazioni da parte delle macchine.

- **Parte 3 – Schede informative**: in questa sezione vengono introdotte schede informative digitali dei prodotti da costruzione, dell'intera opera, dei mezzi, delle lavorazioni e dell'operatore stesso andando a sfruttare le informazioni acquisibili dal modello e che aiuteranno a comprendere meglio le caratteristiche, gli attributi e le performance di ciò che viene descritto.

- **Parte 4 - LOD**: il concetto di LOD (Level of Detail) ha lo scopo di stabilire la quantità e l'affidabilità delle informazioni ma a differenza

delle PAS, in questa sezione vengono introdotti gli obiettivi ed usi del modello in funzione della fase e del rispettivo livello di sviluppo dell'oggetto.

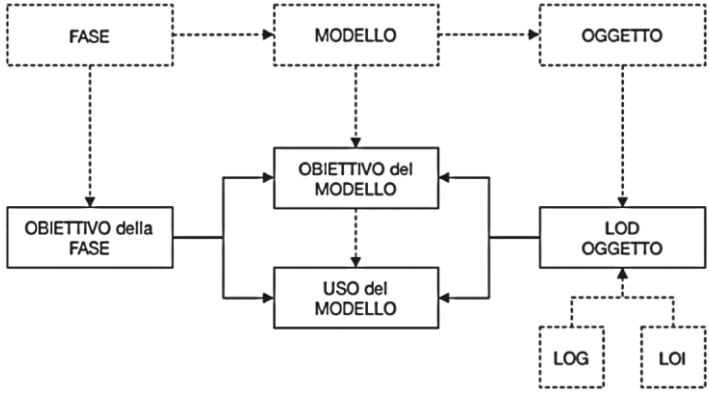


Figura 9: Schema concettuale degli obiettivi e usi del modello secondo la normativa UNI11337:2017

Il LOD, inteso come livello di definizione dell'oggetto, è divisibile in LOG (livello di sviluppo della geometria) che fa riferimento a quanto l'oggetto sia stato disegnato più verosimile alla realtà, e LOI (livello di sviluppo delle informazioni) ovvero la quantità di informazioni legata agli oggetti. Inoltre, la normativa italiana è prima nel mondo a introdurre un LOD per il restauro visto il patrimonio storico caratterizzante del territorio. La scala generale della norma risulta essere:

- LOD A: oggetto simbolico;
- LOD B: oggetto generico;
- LOD C: oggetto definito;
- LOD D: oggetto dettagliato;

- LOD E: oggetto specifico;
- LOD F: oggetto eseguito;
- LOD G: oggetto aggiornato

- **Parte 5 – Gestione modelli ed elaborati**: definisce i ruoli, le regole ed i flussi necessari alla produzione, gestione e trasmissione delle informazioni e la loro connessione e interazione nei processi di costruzione digitalizzati. In particolare, la prima parte è rivolta alle nuove tipologie contrattuali tra committente, progettista ed esecutore, un'altra parte è rivolta ai livelli di coordinamento, interferenze geometriche e livelli di verifica del modello; terza ed ultima parte è rivolta all'ambiente condiviso dei dati, ciò che nella PAS anglosassone viene chiamato Common Data Environment (CDE), un luogo dove vengono gestiti, collegati, relazionati e condivisi file e quindi informazioni.

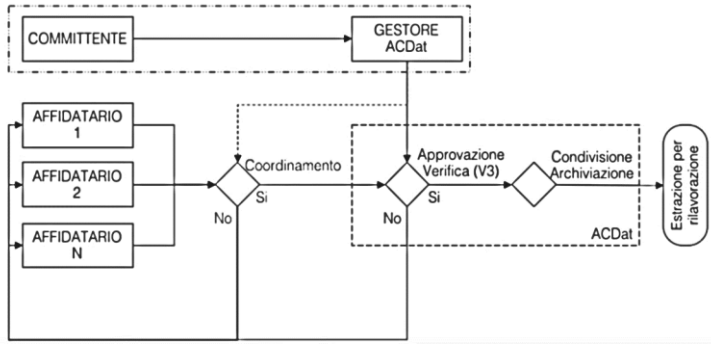


Figura 10: Schema Ambiente Condiviso Dati secondo la normativa italiana 11337-5:2017

Parte 6 - Esempio capitolato informativo: definisce le linee guida per la redazione del capitolato informativo per aiutare i soggetti a comprendere meglio questo nuovo modo di relazionarsi.

- **Parte 7 – Qualificazione figure**: definisce i gradi di competenza per un corretto utilizzo delle nuove figure come il "gestore delle informazioni o BIM manager", il "coordinatore delle informazioni o BIM coordinator" e il "modellatore di informazioni o BIM specialist"**.**

- **Parte 8 – Qualificazione organizzazioni**: una volta strutturato l'intero processo viene trovato un modo per qualificare le organizzazioni in senso informativo.

Aspettando le parti 9 e 10 conclusive, questa norma costituisce il futuro modus operandi da parte dell'intero settore AEC.

---

[9] Alberto Pavan, "Digitalizzazione del settore costruzioni: UNI11337:2017 dal BIM alla piattaforma di filiera", 2017

1.2.5 Dalla teoria alla pratica

Progettare con software BIM necessita di una grande innovazione dell'abituale modo di lavorare: operare con un "modello prototipo" e con un approccio "integrato", richiede un maggiore sforzo progettuale nelle fasi iniziali incidendo in maniera positiva in termini organizzativi ed economici. La curva di MacLeamy evidenzia proprio come il processo BIM richieda molta attenzione nella fase di organizzazione del lavoro e nello sviluppo del design, a differenza del processo tradizionale il quale richiede un uguale sforzo in fasi più avanzate con l'ultimazione e il perfezionamento del progetto.

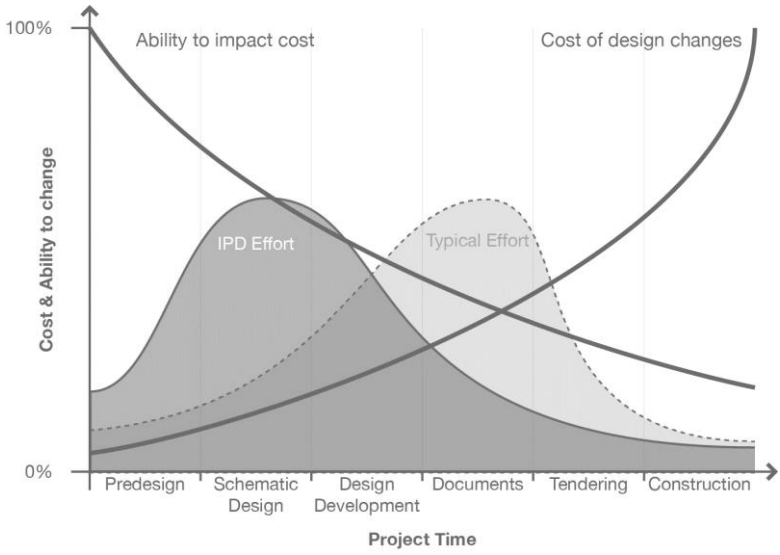


Figura 11: Le diverse interfacce di Revit in funzione della disciplina selezionata

Quindi l'applicazione del BIM non influenza la mole di lavoro ma viene solo anticipata nel tempo: la convenienza è evidente se si analizza la curva dei costi relativi alle modifiche progettuali che diventano sempre più bassi con l'anticiparsi delle correzioni, in quanto l'abilità nel ridurli è nettamente migliore. A tal proposito bisogna però considerare che per affrontare questo tipo di progettazione è necessaria la compresenza di tutti gli attori della progettazione e della realizzazione sin dalle prime fasi di ideazione dell'intervento.

Autodesk Revit, forse perché diretto discendente di AutoCad e stessa casa madre, è uno dei software più utilizzati per la progettazione BIM ed è stato quello impiegato nel corso della tesi. Come già sottolineato in precedenza Revit, come ogni software di modellazione digitale parametrica, consente di creare un complesso di oggetti intelligenti i quali posseggono regole e parametri che possono essere modificati a seconda delle proprie esigenze. Per permettere la condivisione del lavoro tra architetti, ingegneri ed impiantisti, la piattaforma offre elementi per ogni "disciplina" garantendo la possibilità di lavorare su un unico modello. A seconda del compito da svolgere, il software mette a disposizione diversi template ed interfacce che favoriscono la modellazione

architettonica piuttosto che quella strutturale o impiantistica.

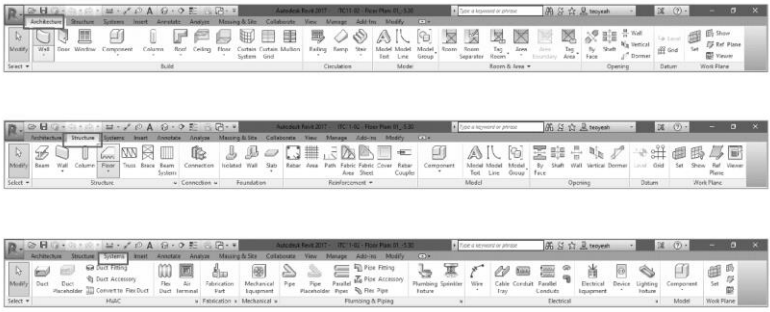


Figura 32: Interfaccia Revit a seconda della disciplina selezionata

Per ogni disciplina, l'interfaccia grafica offre una serie di elementi edilizi classificati secondo una struttura gerarchica ben definita: categoria, famiglia, tipo ed istanza a cui corrispondono diverse informazioni. La "categoria" è l'insieme più grande che include tutti gli altri; a questo livello corrispondono tutti gli stessi elementi indipendentemente dai parametri ad essa associati.

L'insieme successivo è quello delle famiglie, un gruppo di elementi edilizi che fanno parte della stessa categoria con proprietà simili. Ad esempio, la categoria dei muri, reperibile nell'interfaccia architettonica, avrà a disposizione diverse "famiglie", ovvero diversi modelli: muro di base, muro in cemento, muro sovrapposto ed altri. Le famiglie possono essere "di sistema" presenti direttamente nel software all'interno di ogni

categoria, “caricabili” da librerie esterne che vengono offerte da softwarehouse o produttori e famiglie “in place”, create direttamente dall’utente per un qualcosa di unico nel progetto.
Ciò che rende due elementi appartenenti alla stessa famiglia sono parametri riguardanti la realizzazione, ossia parametri di “tipo”: informazioni riguardo al materiale, alle dimensioni, alla funzione, al tipo di montaggio di una specifica famiglia; quello che rende distinguibile ogni singolo elemento sono i parametri di “istanza”, ovvero parametri che riguardano la posa in opera, la posizione in cui l’oggetto verrà montato, quando è stato creato o se e quando è stato demolito.

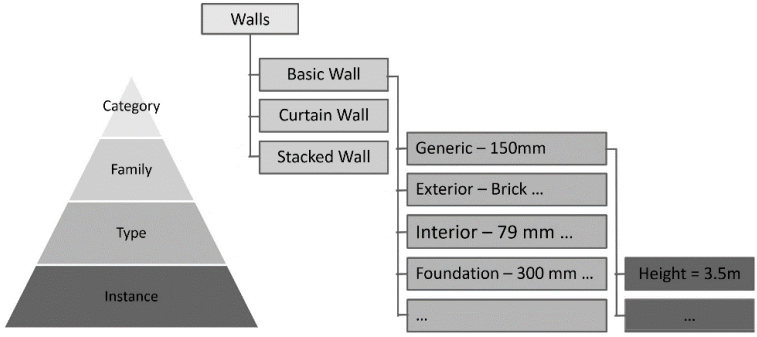


Figura 13: Schema concettuale della gerarchia delle informazioni degli elementi di Revit

Dal punto di vista pratico quando seleziono un elemento e ne modifico un parametro di istanza, sto associando informazioni che riguardano solo quel singolo elemento; se modifico parametri di tipo, ogni stesso elemento subirà la stessa modifica.

Revit utilizza un sistema ricorsivo dove ogni informazione è gerarchizzata secondo questo schema.

Per quanto riguarda invece la condivisione dei dati, è fondamentale il coordinamento tra le figure professionali e l'interoperabilità tra software. Nel primo caso la collaborazione dei diversi professionisti attraverso un unico modello è possibile mediante due principali strategie di condivisione:

- **Workset**: questa strategia si basa su un modello integrato, ovvero un modello centrale che coordina file locali sui quali si può lavorare contemporaneamente. Di solito, ogni modello locale fa riferimento ad una disciplina (architettonica, strutturale, MEP) e il file centrale viene condiviso tramite un server locale come una cartella Dropbox.

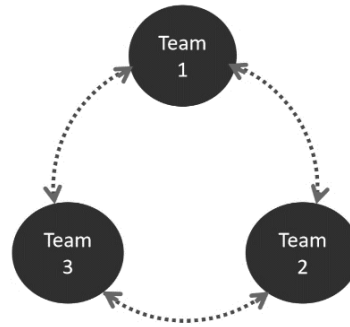


Figura 14: Schema concettuale modello integrato.

Questo metodo permette una condivisione delle informazioni in tempo reale, infatti

basterà sincronizzare i file per condividere in tempo reale le informazioni, una suddivisione del modello in base alle proprie competenze e una buona individuazione delle interferenze.

- **Link**: questa strategia consente di creare un'area condivisa dove ogni professionista può caricare la nuova versione del proprio lavoro durante l'intero processo di progettazione. Non esiste un modello centrale ma la condivisione avviene tramite federazione dei dati: in un modello federato vengono collegati più modelli che non condividono dunque lo stesso database di informazioni.

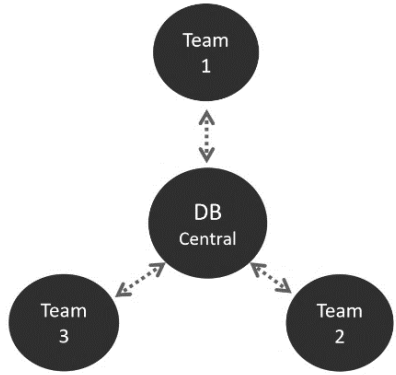


Figura 15: Schema concettuale modello federato.

In ogni caso risulta necessario un coordinamento e prendere decisioni importanti a priori: stabilire nel dettaglio quali saranno le competenze di ogni team, definire un livello comune di dettaglio, considerare

una procedura di alleggerimento e pulizia dei modelli, stabilire date o programmi per la condivisione dei modelli, una procedura per la revisione delle interferenze.

Per quanto riguarda l'interoperabilità tra software L'IFC è un particolare formato di dati che consente l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni. Si tratta di un formato file aperto, neutrale, non controllato da singoli produttori software, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. I modelli IFC contengono geometria dell'edificio e i dati associati ai suoi elementi.

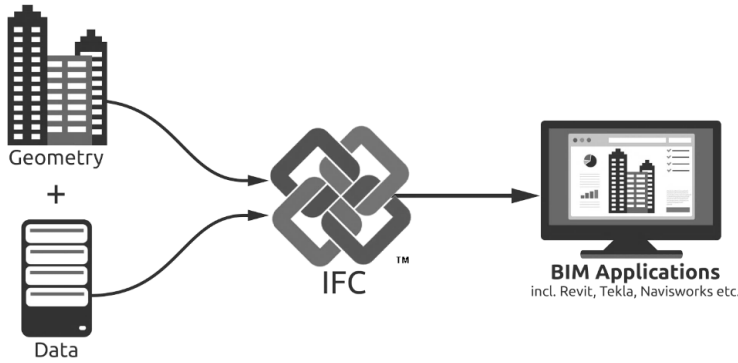


Figura 16: Formato interoperabile Industry Foundation Classes

Questi dati possono essere visualizzati, analizzati e modificati dai vari software che supportano tale formato con lo scopo di effettuare analisi di fattibilità fino alla sua realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di

progettazione e pianificazione. Fornendo una interfaccia IFC per l'esportazione e l'importazione conforme allo standard IFC i fornitori di applicazioni software sono in grado di fornire l'interoperabilità con centinaia di altri strumenti ed applicazioni BIM.

[*] Lu, Weisheng & Fung, Ada & Peng, Yi & Liang, Cong & Rowlinson, Steve, "MacLeamy Curve - With figures", 2015.
[*] www.autodesk.it/products/revit/architecture
[*] http://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/

1.2.6 Dynamo

Una volta capito come creare e condividere le informazioni, vediamo come esse possono essere gestite per velocizzare i processi e ottimizzare le fasi di progettazione. Un ambiente di programmazione visuale permette di programmare attraverso algoritmi personalizzati, non tramite sintassi scritta ma attraverso la manipolazione grafica di elementi. Il software utilizzato in questa tesi è Dynamo, un'applicazione open source estremamente flessibile che può essere utilizzata autonomamente ed è capace di interfacciarsi direttamente come plugin per Revit.

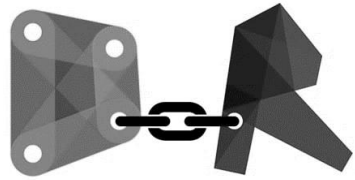


Figura 17: Dynamo e Revit

Dynamo è stato pensato per architetti, ingegneri e professionisti del mondo delle costruzioni e permette di costruire codici senza possedere conoscenze di programmazione. Come la maggioranza dei VPL, Dynamo è basato sull'idea "boxes and arrows" ovvero nodi concepiti come funzioni connesse tra di loro da frecce. Il collegamento tra nodi corrisponde a sequenze logiche di azioni relazionate tra loro per il raggiungimento di un risultato prefissato.

Figura 184: Esempio di un nodo DI Dynamo al quale corrisponde un'operazione matematica. Ad ogni nodo è possibile collegare sulla sinistra, mediante l'utilizzo di frecce, uno o più dati di input che una volta elaborati originano uno o più dati di output.

Le attività e i benefici principali dovuti all'utilizzo di questa applicazione risultano essere:

- l'automatizzazione di attività ripetitive e procedure di lavoro;
- il controllo e la gestione delle informazioni;
- la costruzione di geometrie complesse e parametriche tramite la progettazione algoritmica;
- la possibilità di testare varie alternative in fase di progettazione;
- una maggior interoperabilità tra formati di software diversi;
- il riutilizzo di uno script in diversi progetti.

L'interfaccia offre una classica barra degli strumenti principali, un ampio spazio di lavoro con la possibilità di visualizzare i grafici o le geometrie

realizzate, una libreria di nodi suddivisi per categoria alla quale è possibile aggiungere altri nodi scaricando appositi pacchetti e un comando di avvio dello script “Run” il quale può essere impostato su manuale o automatico a seconda se si vuole avviare lo script ad ogni modifica o avviarlo manualmente quando si vuole.

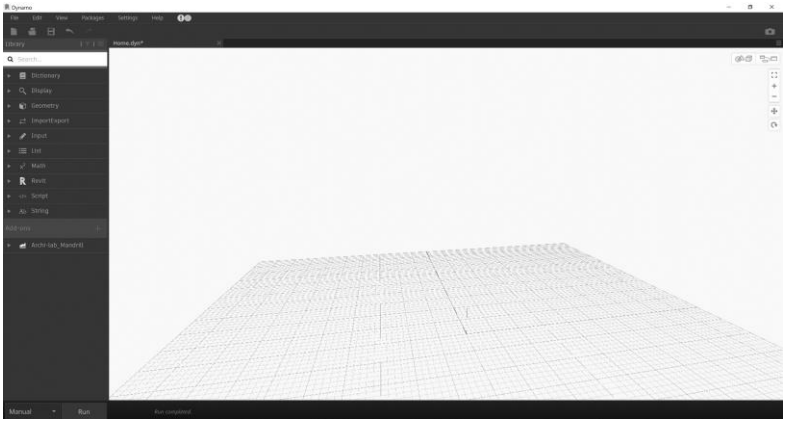


Figura 19: Interfaccia Dynamo

Le operazioni effettuabili sono potenzialmente infinte e consentono di raggiungere qualsiasi obiettivo prefissato. Come viene affermato nel documento reso a disposizione gratuitamente dai gestori della pagina web, si può che:

<<DYNAMO is, quite literally, what you make it..>>

INTRODUZIONE

.1 PREMESSA

.2 B I M

.3 L E E D

.4 CASO STUDIO

<<La nostra sfida più grande in questo nuovo secolo è di adottare un'idea che sembra astratta: sviluppo sostenibile.>>
Kofi Anna

1.3.1 Missione e protocolli

Gli effetti negativi dell'inquinamento, tra cui il cambiamento climatico dovuto all'aumento dell'effetto serra, hanno messo l'accento sulle problematiche ambientali a livello internazionale: nel 1997 la Comunità Europea, firmando il protocollo di Kyoto, si è impegnata a ridurre entro il 2012 le emissioni di gas serra di almeno 5,2 % rispetto ai livelli registrati nel 1990. Raggiunto questo obiettivo l'Unione Europea ha sviluppato il piano "20-20-20" contenuto nella Direttiva 2009/29/CE, con norme per la tutela ambientale tra le più rigorose al mondo da raggiungere entro il 2020:

- il taglio del 20% delle emissioni di CO2;
- la riduzione dei consumi del 20% insegnando ai cittadini europei il concetto di risparmio energetico.
- l'aumento del 20% dell'energia prodotta da fonti rinnovabili;

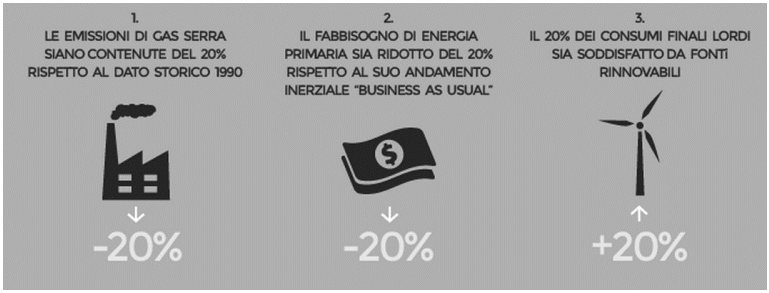


Figura 20: Rappresentazione del Piano 20 20 20 contenuto nella Direttiva 2009/29/C,

Nel 2015, 195 paesi hanno adottato il primo accordo universale e giudircamente vincolante sul clima mondiale con l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale al di sotto dei 2°C entro il 2030. Il 6 ottobre 2018 in Corea del Sud è il IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) ha approvato il *Rapporto Speciale sul Riscaldamento Globale* ridotto a 1,5° ma con l'obbiettivo di arrivare a "emissioni nette zero" entro il 2050.
Considerando che, secondo i rapporti di centri di ricerca applicata, il settore edilizio, insieme all'industria e al sistema dei trasporti, è uno dei maggior responsabili del consumo di energia primaria e quindi di emissione totale di gas serra nel mondo. Per questo è necessario un cambio di direzione da parte di questo settore attraverso costruzioni più sostenibili dal punto di vista energetico ed ambientale.

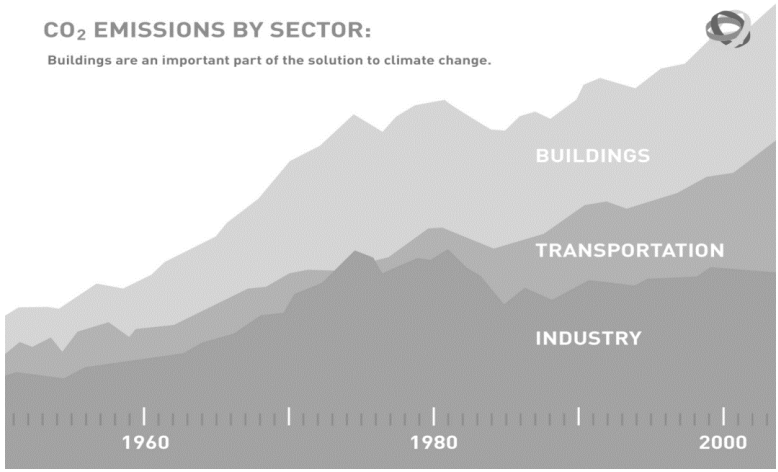


Figura 21: Grafico dei settori maggiormente responsabili della emissione totale di gas serra

Ma quali sono i processi e principi su cui si basa l'architettura sostenibile? Spesso questa idea risulta astratta e confusa. Secondo Paola Gallo, Ricercatore Universitario presso il Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design della Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze: <<Un edificio ecologico è tale se il processo edilizio (progetto, realizzazione, uso, demolizione) segue i principi orientati alla tutela dell'ambiente. La bioedilizia sa dunque valutare attentamente i fabbisogni abitativi per ridurre al minimo l'uso del territorio e l'alterazione del paesaggio; è in grado di inserirsi in un contesto sfruttandone al meglio le caratteristiche climatiche (vento, sole, precipitazioni); utilizza, per quanto possibile, risorse rinnovabili e ne favorisce l'uso; è attenta alla salute dell'uomo che deve abitare e lavorare in un determinato edificio. Inoltre dal punto di vista morfologico, storico e architettonico, essa è orientata a un corretto recupero del patrimonio edilizio esistente, in modo da valorizzare elementi e materiali tradizionali; è in grado di favorire la possibilità di riciclare i propri componenti; utilizza risorse e materiali locali ed esclude quelli di difficile scomponibilità; adopera materiali e componenti di lunga durata d'uso, compatibili fra loro e di facile manutenzione.>> [10]

Ed una volta stabiliti, chi li verifica? In tal senso sono disponibili certificazioni di sostenibilità con le quali è possibile quantificare, verificare e attestare l'impatto ambientale durante l'intero ciclo di vita

del manufatto consentendo di conseguire benefici ambientali, economici e sociali con ricadute sugli utenti dell'edificio, inclusi i proprietari e tutta la popolazione in generale.
La certificazione più riconosciuta a livello internazionale è sicuramente The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), un sistema volontario promosso da U.S. Green Building Council, per la progettazione, costruzione e gestione di edifici e aree territoriali ad alte prestazioni.

Figura 22: Logo U.S. GBC e GBC Italia

Green Building Council Italia è un'associazione volontaria di imprese, enti e strutture che promuove la cultura e la pratica dell'edilizia sostenibile in territorio nazionale basandosi sull'adozione del sistema LEED anglosassone. GBC Italia promuove un sistema complesso ma flessibile che prevede formulazioni differenziate in funzione della tipologia di intervento e basate sulla peculiarità del contesto culturale italiano:

- **GBC Home**: per la progettazione, costruzione e ristrutturazione degli edifici residenziali;
- **GBC Quartieri**: per la riqualificazione di aree urbane e quartieri sostenibili;
- **GBC Condomini**: per la ristrutturazione e manutenzione di condomini antecedenti al 1970 con classi energetiche F o G che comportano uno spreco energetico considerevole;
- **GBC Historic Building**: per il restauro e la riqualificazione sostenibile degli edifici storici;

Costruire case e città sostenibili secondo i protocolli LEED sono caratterizzati per un utilizzo più efficiente delle risorse, consumano meno acqua ed energia e riducono le emissioni di gas serra, consentendo di risparmiare e ottenere benefici indispensabili per il nostro benessere e per il futuro del nostro pianeta.

Figura 23: Obbiettivi del sistema LEED

1.3.2 GBC Historic Building

Vista la realtà costruttiva e la normativa italiana, il protocollo GBC Historic Building [10] è stato pensato per il recupero e la riqualificazione del patrimonio storico che caratterizza il territorio italiano. Il protocollo è applicabile a manufatti edilizi che costituiscono "testimonianza materiale avente valore di civiltà". In questa categoria rientrano tutti gli edifici antecedenti al secondo conflitto mondiale, ovvero prima dell'industrializzazione edilizia che in Europa parte convenzionalmente dal 1945 o che abbiano almeno il 50% di elementi edilizi originali.

Il protocollo si applica nel caso di interventi sull'esistente al fine del suo recupero, conservazione e della possibile integrazione ex-novo pur che riguardi ristrutturazioni importanti che coinvolgono elementi rilevanti degli impianti e il rinnovo funzionale degli spazi. Il sistema ha l'intenzione di far dialogare discipline fra loro distanti come il restauro e la sostenibilità ma non prevede requisiti specifici alla conservazione e valorizzazione dell'eredità storica del manufatto;

per cui è affidato al progettista il compito di far interagire in maniera armoniosa tradizione e innovazione, estetica e performance.

Come negli altri sistemi GBC, il protocollo Historic Building valuta la sostenibilità dell'intervento attraverso un metodo qualitativo basato su diversi requisiti; attraverso il calcolo, la misura e la verifica di tali requisiti, a cui corrispondo rispettivi punteggi, è possibile dimostrare il raggiungimento della certificazione sostenibile.

Nella check list esistono prerequisiti obbligatori e crediti volontari organizzati per aree tematiche:

- **Valenza storica**: questa sezione mira a preservare il valore di testimonianza civile mediante la valorizzazione delle qualità del costruito preindustriale. I crediti riguardano indagini conoscitive per non compromettere l'autenticità del manufatto, la reversibilità dell'intervento conservativo che garantisce la possibilità di eliminare le integrazioni apportare per ripristinare la condizione antecedente senza pregiudicare l'integrità delle strutture storiche, la compatibilità della destinazione d'uso senza alcuna alterazione della materia e della immagine, il cantiere di restauro sostenibile cercando di contenere l'impatto ambientale derivato dalle tecniche di restauro e un piano di manutenzione programmato. (Punteggio massimo: 20 punti)

- **Sostenibilità del Sito**: i crediti di quest'area si occupano degli aspetti ambientali legati al sito dove è situato il manufatto, con particolare attenzione al trasporto sostenibile, al controllo qualitativo e quantitativo delle acque meteoriche, alla riduzione dell'effetto dell'isola di calore e dell'inquinamento luminoso; tutti aspetti legati a possibili effetti negativi sull'ecosistema naturale. (Punteggio massimo: 13 punti)

- **Gestione delle Acque**: attraverso i crediti di quest'area è possibile ridurre e contabilizzare l'uso dell'acqua per scopi irrigui, ornamentali e civili. (Punteggio massimo: 8 punti)

- **Energia e Atmosfera**: questa sezione ha lo scopo di ottimizzare le prestazioni energetiche dell'edificio considerando qualsiasi miglioramento dei consumi energetici e la produzione di energie rinnovabili con il conseguente contenimento delle emissioni. (Punteggio massimo ottenibile: 29 punti)

- **Materiali e Risorse**: i crediti di quest'area assicurano che i nuovi materiali installati siano in continuità con l'edificio esistente e che presentino impatti virtuosi dal punto di vista ambientali, economico e sociale come la riduzione dei rifiuti di demolizione e costruzione, il loro riutilizzo, la provenienza e la lavorazione a distanza limitata. (Punteggio massimo ottenibile: 14 punti)

- **Qualità ambientale Interna**: l'area tematica in questione consente di conseguire crediti attraverso il raggiungimento di condizioni di comfort degli occupanti grazie al controllo della quantità e qualità dell'aria interna, degli impianti di illuminazione e climatizzazione. (Punteggio massimo ottenibile: 16 punti)

- **Innovazione della progettazione**: questa categoria premia le eccellenze progettuali che garantiscono benefici documentabili in termini di sostenibilità ma non riconducibili ad alcun requisito del protocollo. (Punteggio massimo ottenibile: 6 punti)

- **Priorità Regionale**: la sezione riguarda la valorizzazione dei requisiti prioritari per il contesto territoriale in cui si colloca il manufatto, col fine di incentivare a focalizzare l'attenzione sugli aspetti regionali dell'intervento. (Punteggio massimo ottenibile: 4 punti)

Il punteggio massimo ottenibile è pari a 110 punti; il risultato totale si ottiene dalla somma dei punteggi relativi ad ogni area tematica, il quale corrisponde ad una specifica certificazione LEED: Base (40/49 punti); Argento (50/59 punti); Oro (60/79 punti); Platino (80/110 punti)

[*] IPCC, intergovermental panel on Climate Change: "Global Warming of 1,5°,2018

[10] Gallo P. (ed.), Progettazione sostenibile, Alinea, Firenze 2005.

[11] Sistema di verifica GBC HISTORIC BUILDING (Versione breve ad uso pubblico e divulgativo) Per il restauro e la riqualificazione degli edifici storici Edizione 2016 (revisione aprile 2017).

[*] http://www.gbcitalia.org/historic-building

1

INTRODUZIONE

.1 PREMESSA

.2 B I M

.3 L E E D

.4 CASO STUDIO

<<Da soli possiamo fare così poco; insieme possiamo fare così tanto.>>
Helen Keller

Figura 24: Una foto del Santuario del Trompone

1.4.1 Il Santuario del Trompone

L'area oggetto di studio è il Santuario della Beata Vergine del Trompone, una struttura sanitaria ubicata nella campagna moncrivellese, tra il comune di Villareggia e di Cigliano, tutti comuni in provincia di Vercelli che distano pochi chilometri dall'autostrada che collega Torino e Milano per cui la struttura risulta facilmente raggiungibile.

Figura 25: Inquadramento territoriale con Google Maps

Il 26 giugno 1562, in seguito ad una miracolosa guarigione grazie all'apparizione della Beata Vergine Maria su di un grande tronco d'albero o "trumpone" nel dialetto locale, fu celebrata una Santa Messa su di un altare mobile. Sul luogo fu presto costruito il Santuario voluto da Gabriella di

Valperga, consorte del marchese di Moncrivello, terminato nel 1568 con la rotonda rinascimentale.

La storia del complesso è pluricentenaria per cui caratterizzata da diverse stratificazioni dovute ai diversi ampliamenti: nel 1600 viene accostato a sud il prolungamento chiesastico a tre navate, nel 1659 viene concluso il convento per l'accoglienza dei pellegrini composto da tre maniche di due piani fuori terra le quali formano una grande corte ad ovest del Santuario; negli anni 1880-90 vengono aggiunti due palazzi in stile neoclassico di tre piani fuori terra per ospitare le scuole preparatorie.

Nel 1970 l'Arcivescovo Albino Mensa concesse in comodato al Beato Luigi Novarese e l'intero complesso venne adibito a Centro residenziale con attività socio-riabilitativi e corsi professionali per giovani disabili.Dal 2000 il complesso è stato affidato alla comunità dei Silenziosi Operai della Croce, un'associazione privata di fedeli che hanno avviato l'attività sanitaria. La necessità di rendere sempre più adeguata la struttura ha portato la costruzione del nuovo Centro di cura di fronte al Santuario inaugurato nel 2006. [12]

Attualmente il complesso ospita diverse funzioni:

- un Centro specializzato di Recupero e Riabilitazione Funzionale di 2° livello nella nuova Casa di Cura;

- una Residenza Sanitaria Assistenziale per stati vegetativi e persone affette da patologie neurologiche invalidanti;
- corsi professionali e di formazione per l'inserimento di persone disabili all'interno del mondo lavorativo;
- un Corso di Laurea in Terapia Occupazionale;
- il convento dei Silenziosi Operai della Croce;
- il Santuario del Trompone.

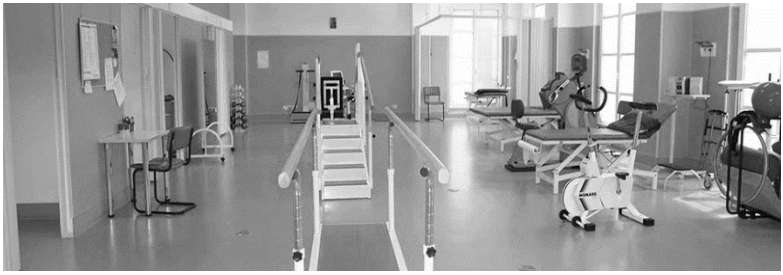


Figura 26: Una delle sale riabilitative con la specifica attrezzatura

Da qualche anno l'Associazione ONLUS Silenziosi Operai della Croce ha promosso un progetto con lo scopo di migliorare la qualità di vita delle persone disabili e dei loro familiari attraverso una riqualificazione dell'intero complesso con adeguamento degli aspetti strutturali, impiantistici, tecnologici e funzionali.

[12] Silenziosi Operai Della Croce, "La Beate Vergine potente del Trompone", Istituto Salesiano Pio XI, Roma, 2016
[*] http://www.trompone.it/

1.4.1 BIM for Health

Il laboratorio Drawing to the Future del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Geotecnica e Edile (DISEG) del Politecnico di Torino, ha deciso di provare a dare una risposta tecnologica ed ambientale alle necessità della struttura del Trompone e dei suoi utenti sperimentando la metodologia BIM in tutte le sue sfaccettature e potenzialità.

Figura 27: Vista aerea del Complesso ripresa con Drone

Al progetto hanno lavorato diversi tesisti e l'intera area è stata suddivisa in aree tematiche:

- Lo stato di fatto del Santuario e del Convento;
- la rifunzionalizzazione della RSA;
- la riqualificazione del parco a nord della struttura;
- una nuova serra per ospitare attività ricreative ed eventi;

- una nuova ala destinata all'accoglienza di malati di Alzheimer;
- un giardino d'inverno all'interno della corte;

Ogni progetto approfondisce un tema specifico come la parametrizzazione degli elementi, il controllo delle tempistiche e del costo del progetto, il construction e il facility management, la realtà aumentata e virtuale, la gestione dei dati e così via. Per questo è nato BIM for Health, un gruppo di lavoro di tesisti che sperimentano la metodologia BIM per la riqualificazione della struttura sanitaria.

Il progetto è stato suddiviso per macroaree le quali sono state approfondite da ciascun studente e per garantire il successo del lavoro è stato definito un percorso basato su standard BS PAS 1192:2007. La creazione di un Ambiente Condiviso di Dati, o in inglese Common Data Environment, consente ai progettisti di collaborare attraverso una cartella Dropbox, in cui ogni partecipante condivide il proprio modello e le informazioni ad esso associate.

Esistono quattro cartelle in cui i file e le informazioni ad essi associate vengono condivise nel tempo con l'avanzare della fase progettuale:

1. **Work In Progress**: la prima cartella è un ambiente non accessibile a tersi dove solo i membri del team di progetto hanno la possibilità di caricare e condividere il proprio modello mentre ci lavorano con la supervisione del BIM coordinator;

2. **Shared**: previa approvazione da parte del coordinatore sul livello di dettaglio e della qualità, il lavoro viene condiviso con la committenza o verso terzi accreditati;

3. **Published**: i file vengono condivisi nella terza cartella dopo l'approvazione del risultato raggiunto da parte del cliente e verranno utilizzati per la costruzione del manufatto; nel caso in cui la committenza non autorizzasse il passaggio successivo perché non soddisfatta del lavoro, il team ripartirà dalla prima cartella;

4. **Archived**: dopo la verifica e l'aggiornamento del modello in funzione della realtà costruttiva, i file vengono archiviati nella quarta ed ultima cartella e vengono utilizzati per gestione e manutenzione o eventuale ristrutturazione/demolizione del manufatto.

Allo stesso modo sono state create le medesime cartelle in cui tutti i tesisti hanno simulato di lavorare secondo normativa. La tesi si inserisce in questo contesto e si pone come obiettivo quello di studiare una soluzione per il nuovo parcheggio con un approfondimento sulle analisi di sostenibilità, la conseguente certificazione LEED e l'ottimizzazione del flusso del lavoro tramite ambiente di programmazione visuale.

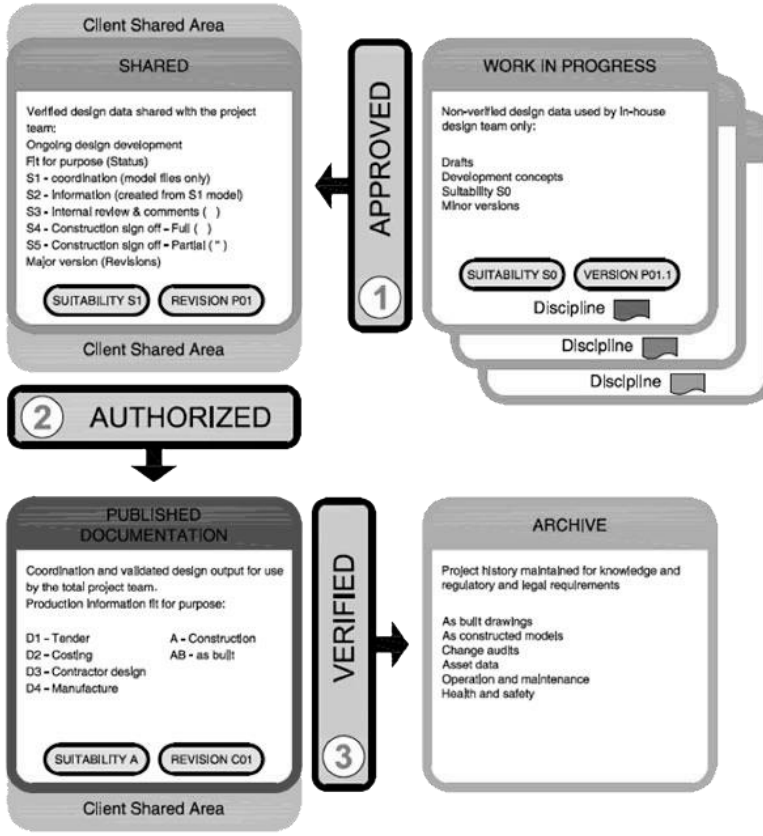


Figura 28: Common Data Environment secondo standard BS PAS 1192:2007

[*] http://biblus.acca.it/bim-modello-virtuale-bs-1192-e-pas-1192-2/

2

METODOLOGIA

.1 FASE DI PROGETTO

.2 SISTEMA DI VALUTAZIONE

2.1.1 Scelte progettuali

Il progetto della tesi riguarda lo sviluppo di un parcheggio tecnologico a servizio della struttura sanitaria nella zona perimetrale, a sud-ovest del lotto. L'intera superficie copre circa un ettaro di terreno ed è stata di recente resa piana per essere utilizzata come parcheggio ma necessita di una riqualificazione in termini architettonici e funzionali.

Figura 29: Vista dall'alto del complesso catturata da Google Maps

Il progetto prevede la realizzazione di una grande piastra mineralizzata con diversi posti auto coperti da una tettoia fotovoltaica per la produzione di energia rinnovabile, una grande area dedicata a verde con una rete di raccolta, depurazione e

riutilizzo delle acque meteoriche ed un impianto di illuminazione.

L'intero parcheggio è stato progettato secondo normativa con 140 posti di cui12 destinati a disabili e 8 ad auto elettriche con la possibilità di ricarica tramite apposite colonnine. La sistemazione prevista cerca di ottimizzare la circolazione delle vetture e del pedone all'interno dell'area attraverso un percorso coperto dedicato ai passanti. I posti auto sono disposti a doppio pettine a 90° con più ingressi che rendono il parcheggio più accessibile e permeabile; i posti auto hanno una larghezza di 2,40 m e lunghezza pari a 4,80 m con strade larghe 6,00 m che ne permettono il corretto utilizzo. Inoltre sono stati inseriti porta biciclette a meno di 200 metri dall'ingresso principale della struttura.

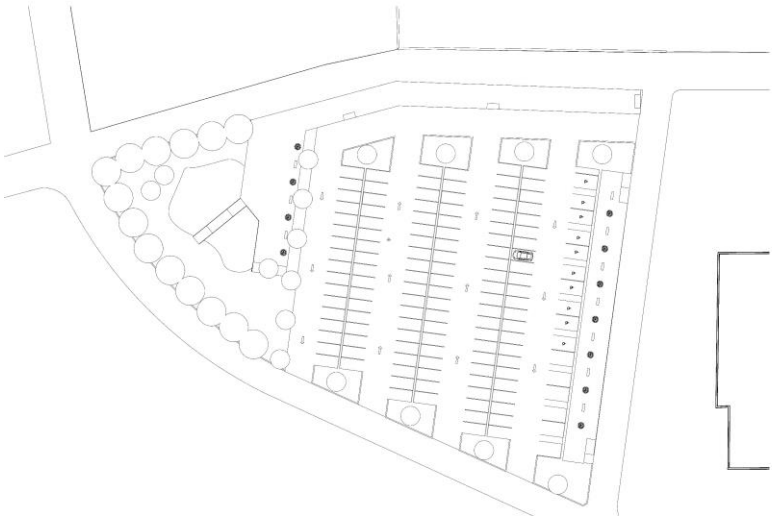


Figura 30: Planimetria Revit

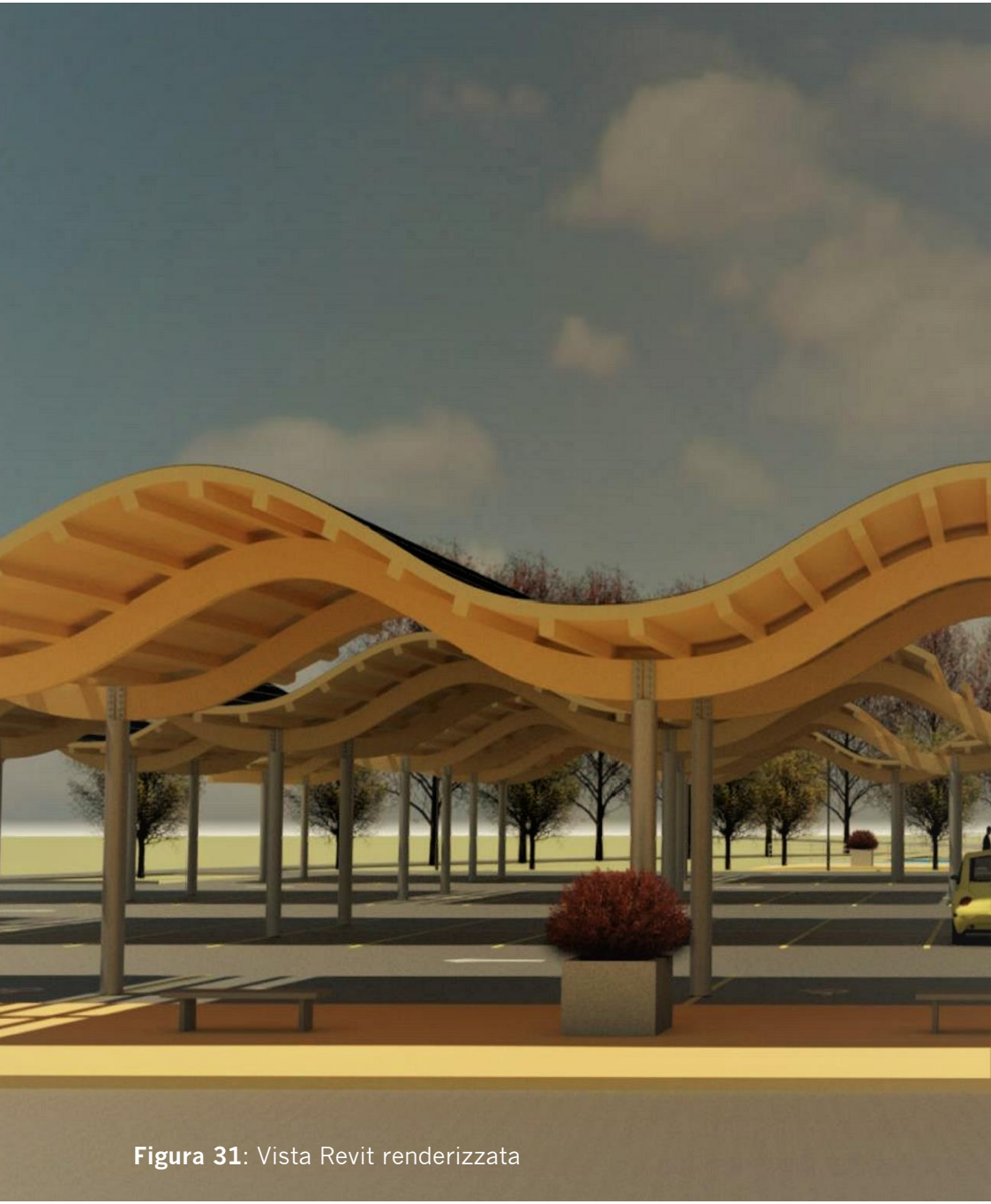
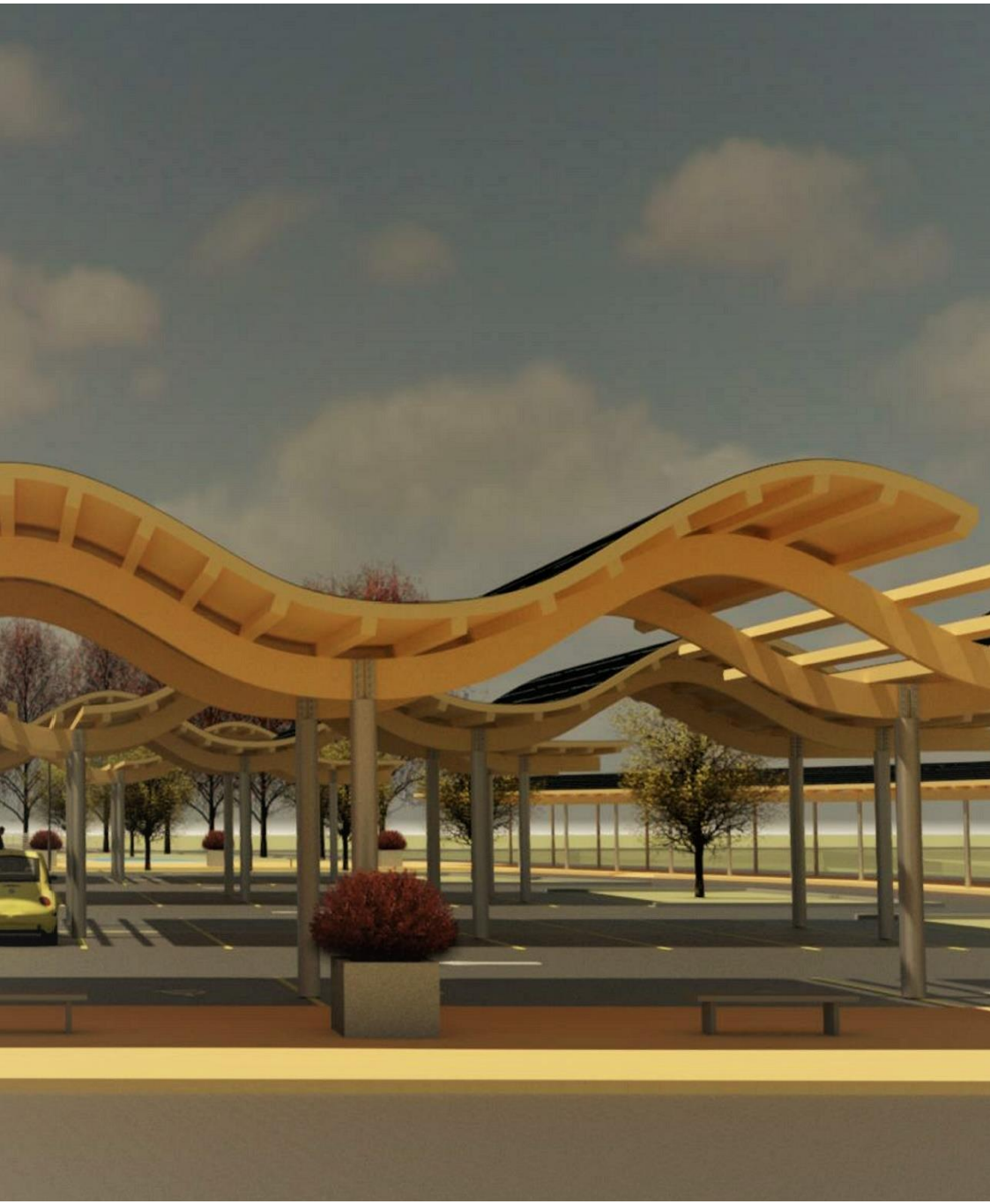


Figura 31: Vista Revit renderizzata



Tutti i posti auto sono coperti da una pensilina costituita da pilastri circolari in acciaio che sorreggono due grandi travi curvilinee in legno che caratterizzano lo skyline del nuovo parcheggio. Su di esse giace il sistema di travi secondarie e la tettoia sempre in legno GFS (Gestione Forestale Sostenibile) rivestita con fotovoltaico CIGS. Questa nuova tecnologia che fa parte della famiglia dei pannelli a film sottile permette l'installazione di maggiore superficie fotovoltaica, raggiungendo un'elevata potenza di picco.

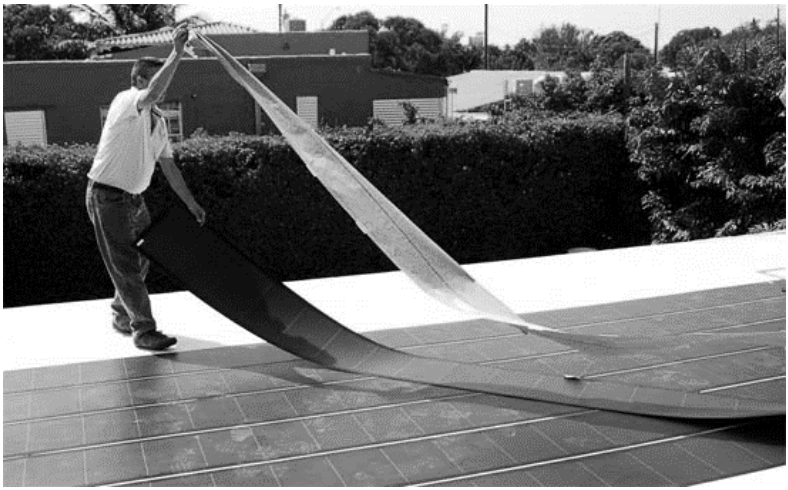


Figura 32: La flessibilità dei pannelli fotovoltaici a film sottile

I pannelli CIGS sono composti da Diseleniuro di Rame e Indio (CuInSe2), un materiale che ha una estrema capacità di assorbire lo spettro solare che gli permette di utilizzare il 99% della luce già nei primi micron di materiale. Questa caratteristica lo rende un materiale flessibile e quindi adatto ad una migliore integrazione architettonica rispetto agli

altri tipi di materiale. Aggiungendo, poi, una piccola quantità di Gallio si copre l'intero spettro solare, che lo avvicina al massimo possibile di assorbimento delle radiazioni solari, aumentando di conseguenza la tensione e l'efficienza della cella fotovoltaica che si avvicina a quella dei normali pannelli in silicio cristallino.

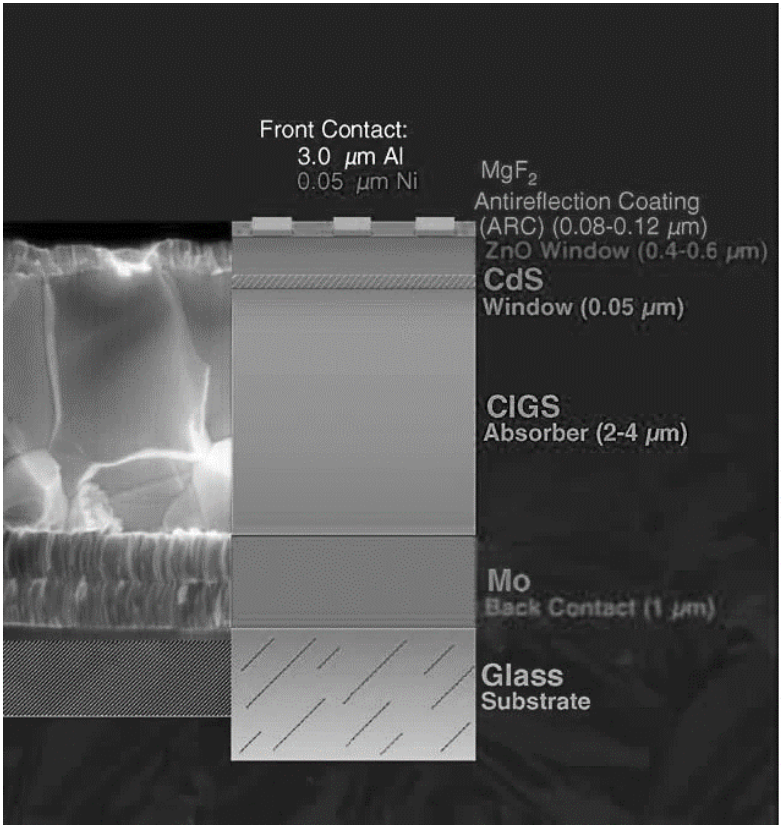


Figura 33: Struttura dei pannelli CIGS (National Renewable Energy Laboratory)

I vantaggi di questa soluzione sono molti:

- Raggiunge, a patto di superfici maggiori, alti rendimenti di conversione ma con costi più contenuti;
- la conversione rimane molto stabile nel tempo per cui hanno un decadimento delle prestazioni molto lento;
- sono efficienti anche in condizioni climatiche sfavorevoli come in caso di nuvolosità, in caso di luce diffusa o surriscaldamento;
- sono caratterizzati da rotoli flessibili e leggeri che facilitano l'installazione e l'integrazione architettonica con maggior resa estetica;
- è presente minore quantità di materiale tossico rispetto a quello contenuto nei pannelli tradizionali;
- Infine è una tecnologia sostenibile per produrre energia rinnovabile, sicura e pulita con un bilancio energetico attivo e ricerche scientifiche che confermano che l'Energy Pay Back Time di un pannello CIGS è di soli 2 anni contro i 6-8 anni dei moduli in silicio cristallino. Ciò significa che in 24 mesi ogni modulo è in grado di produrre una quantità di energia pari a quella utilizzata per produrlo, azzerando in pochissimo tempo il suo impatto ambientale.

Più di 1000 m^2 sono dedicati ad una vasta aera verde caratterizzata da una bio piscina, <<un piccolo ecosistema acquatico, agevolato tecnicamente>>. Si tratta di uno specchio d'acqua nel quale, tramite apposite pendenze e canali, viene fatta confluire l'acqua meteorica che giunge sulla copertura e sulla nuova superficie mineralizzata. Dopo un processo di fitodepurazione, l'acqua piovana viene riutilizzata per usi esterni di irrigazione e ornamentali. Il processo di fitodepurazione consiste nel riprodurre artificialmente ciò che succede in natura nelle wetland, aree umide dove vi è una regolazione ecologica del ciclo idraulico: la constructed wetland è un impianto costituito da un bacino impermeabilizzato con un substrato di ghiaia e vegetazione il quale, grazie a particolari piante, favorisce lo sviluppo di microorganismi preposti alla depurazione che eliminano le sostanze inquinanti (nitriti, nitrati fosfati ecc.) o eventuali patogeni e rendendo l'acqua pura e volendo balneabile.

La bio piscina prevede la preparazione di due aree ben distinte tra loro: la zona di fitodepurazione e la zona libera. La zona di fitodepurazione ha una profondità minore ed è satura di inerte che diventa il substrato ideale per le piante palustri e la dimora perfetta per la micro e macro-fauna.

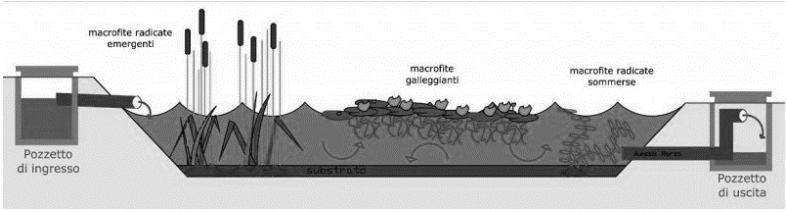


Figura 54: Schema di un sistema di fitodepurazione a flusso superficiale

I vantaggi di questa soluzione sono:

- crea un habitat semi-naturale che caratterizza formalmente il paesaggio;
- consente di mitigare l'effetto isola di calore provocato dall'asfalto con un alto coefficiente di assorbimento;
- non esiste la stagione di copertura, questo tipo di bacino permette di vivere le stagioni a trecentosessanta gradi, godendone i colori autunnali, le fioriture primaverili ed estive e i contrasti invernali;
- efficacia nella rimozione di inquinanti contenuti nelle acque di dilavamento e di refluo grigie;
- la manutenzione ordinaria è ridottissima e molto semplice: circa 2 o 3 volte l'anno è necessaria una pulizia del fondo e delle pareti tramite una scopa aspiratore, rimozione di elementi galleggianti che entrano in fitodepurazione ed eventuale rimonda dei fiori sfioriti in fitodepurazione;
- essendo un ecosistema vivo e naturale l'acqua è sempre più calda rispetto ad una

piscina chimica; inoltre la sensazione che si prova nuotando o semplicemente vivendo quest'area, è quella di immergersi completamente nella natura e se ne percepisce colori, forme, profumi e sapori stimolando tutti i sensi;

- risalendo in superficie dopo un lungo bagno, scopriremo la nostra pelle pulita, molto liscia e profumata, senza allergie o prodotti aggressivi e quindi molto indicata per persone affette da malattie della pelle;
- riduzione del flusso e della sua velocità di acque piovana con rilascio controllato, perché ritardato nel tempo, nella rete idrica locale;
- consumo di energia elettrica ridotto dell'80 % con costi di manutenzione contenuti rispetto ai metodi tradizionali.

Figura 35: Vista renderizzata su Lumion

Queste tipologie di vasche possono essere utilizzate anche per il trattamento delle acque grigie e il riutilizzo per usi secondari; questo comporta alcuni svantaggi come la visibilità di inquinanti presenti nella zona di fitodepurazione del bacino e i relativi odori indesiderati e inoltre l'intervento risulterebbe assai più complesso e costoso; per questo si è deciso di trattare solo le acque meteoriche. Un' altro "contro" potrebbe essere che l'acqua in estati particolarmente calde superi facilmente i trentasei gradi, soglia sopra la quale le piante della fitodepurazione faticano a portare ossigeno alla microfauna presente all'interno dell'inerte filtrante. Quindi si è deciso di piantare alberi dalla grande chioma per creare coni d'ombra sullo specchio d'acqua.

Una soluzione sostenibile sia dal punto di vista ambientale che economico ma che caratterizzi formalmente il progetto con un impatto sociale importante per i residenti e tutti i fruitori della struttura sanitaria.

[*]http://www.voltasolar.it/it/cigs/index.aspx?m=53&did=310

[*]https://www.fotovoltaiconorditalia.it/mondo-fotovoltaico/pannelli-fotovoltaici-cigs-nuova-frontiera-del-film-sottile

[*] Claudio Campanini, "Il bio lago balneabile: Pensare, progettare e costruire la balneazione artificiale", vol. 13 di eBook del Portale del Verde, 2014

[*] https://www.sistemieditoriali.it/catalogo/vse_as22.pdf

2.1.2 Modellazione (3D)

La modellazione in ambienti BIM è molto importante ed è necessario un piano di esecuzione studiato in maniera accurata per non lasciare nulla al caso. Questo comporta una serie di scelte prima di iniziare a modellare tra cui l'organizzazione del team di progetto e la definizione degli usi del modello.

Il primo passo infatti, sin dalla nascita del gruppo "BIM for Health", è stato quello di elaborare una strategia di condivisione: vista la complessità del progetto si è adottata una condivisione per link, singoli modelli federati collegati tra loro in un unico file centrale, condividendo il lavoro nel CDE visto in precedenza nominando i file con una codifica specifica.

Seguendo questa metodologia un'azione fondamentale prima di iniziare a modellare è stata condividere il sistema di coordinate creato precedentemente dagli altri tesisti. Questa operazione permette, in un secondo momento, che modelli collegati tra loro rispettino le proprie posizioni all'interno del lotto senza alcuna interferenza. Allo stesso tempo il modello assume la posizione reale in cui si trova con i rispettivi dati climatici per effettuare eventuali simulazioni in quanto geolocalizzato.

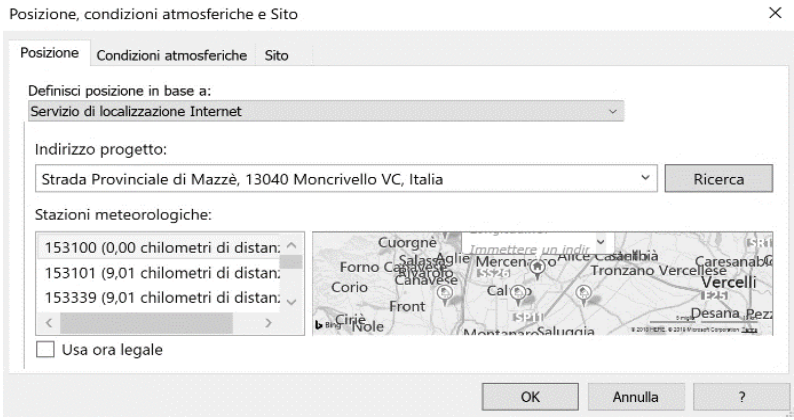


Figura 36: Geolocalizzazione del modello

Il secondo step nello sviluppo di un piano di esecuzione BIM è quello di identificare gli obiettivi di progetto perché vi è un alto rischio di lavorare a vuoto. Infatti in un modello tridimensionale BIM potremmo lavorare all'infinto, inserendo sempre più informazioni e creando geometrie sempre più prossime alla realtà ma che spesso risultano inutili. L'uso futuro delle informazioni e delle geometrie può avere un impatto notevole sui metodi utilizzati per sviluppare il modello; per questo è necessario iniziare la progettazione con la fine in mente.

In questo caso l'obiettivo del modello è quello di verificare la sostenibilità dell'intervento. Questo vuol dire effettuare analisi dettagliate quando il modello è nelle prime fasi di sviluppo, quindi un livello geometrico (LOG) non elevato ma con livello informativo (LOI) adeguato.

Una volta stabilita la strategia di condivisione e l'uso del modello ho iniziato la modellazione: ho scelto di partire con un classico Template architettonico perché il progetto prevedeva principalmente la parte topografica con la sistemazione del parcheggio e del verde e quella strutturale con la composizione della copertura. Ho iniziato col posizionare nella maniera più logica e funzionale le famiglie dei posti auto scaricate dalla libreria di Revit nella sezione "Planimetria→Parcheggio". Dopo di che ho modificato la superficie topografica esistente della strada, garantendo l'accessibilità e la fruizione del parcheggio rispettando le dimensioni, le distanze di sicurezza e i raggi di curvatura secondo normativa e identificato le aree destinate al verde e le aree pedonali con una pavimentazione diversa e rialzata ma senza creare barriere architettoniche grazie ad apposite rampe.

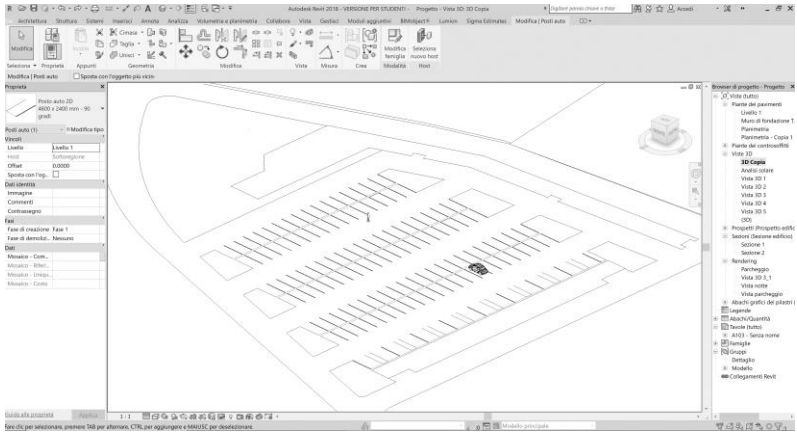


Figura 37: Topografia del modello BIM

Inseguito ho iniziato a “montare” la struttura della copertura: una volta creata una griglia strutturale è bastato un semplice click per posizionare in maniera precisa ed ordinata i pilastri in acciaio a sezione circolare e le fondamenta in calcestruzzo rimanendo vincolati alle linee di riferimento e rimanendo così facilmente modificabili. Inseguito ho posizionato l’orditura delle travi principali e secondarie in legno, la copertura e i pannelli fotovoltaici.

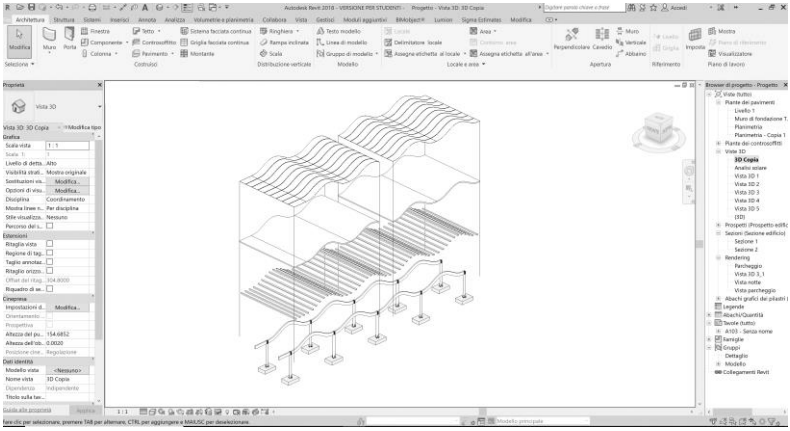


Figura 38: Esploso della struttura nel modello BIM

Ciò che contraddistingue i modelli BIM da quelli tradizionali è la quantità di informazioni collegati agli elementi edilizi, infatti ogni elemento di per sé possiede un database il quale può essere modificato, aumentandone l’insieme. Per questo la modellazione è frutto anche dell’inserimento dei diversi dati: le giunzioni strutturali ad esempio, le quali sono state inserite con un semplice comando

scegliendo tra le diverse tipologie di connessione e i due elementi da collegare, sono “modellabili” attraverso l’inserimento di diverse informazioni come il numero di bulloni, la forma della piastra, eventuali rinforzi e così via. A questo proposito molti, a favore del disegno libero, vedono un limite creativo della progettazione parametrica e non credono <<che una parametrizzazione spinta sia la risposta giusta alle necessità particolari dei progettisti Italiani, per cui in ogni momento è indispensabile poter uscire dai limiti dei parametri e poter creare liberamente, miscelando con semplicità nello stesso progetto i vari tipi di elementi.>>[13]

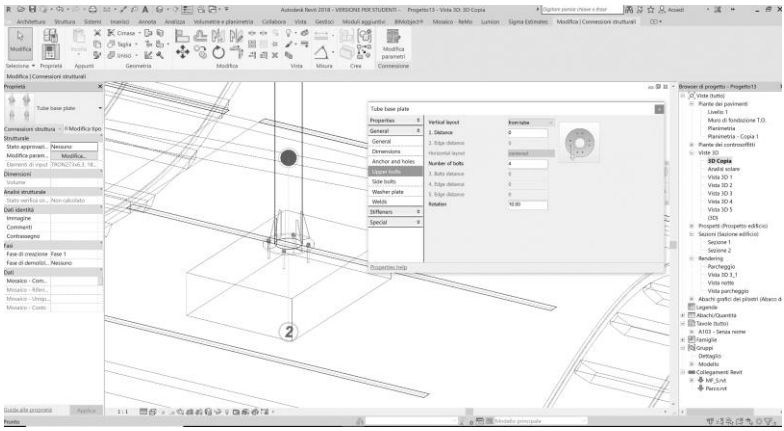


Figura 39: Modifica parametri di giunzioni strutturali

Ma oltre a modificare parametri esistenti, ovvero dati già in possesso dell’elemento inserito nel modello, si possono creare nuovi parametri. Questo concetto è alla base della modellazione BIM la quale ha creato un nuovo mondo per i progettisti: con

essa, anche in fase di concept, è possibile ottenere agilmente geometrie complesse e risulta molto più veloce modificare il modello in corso d'opera mantenendo flessibile le visualizzazioni fino alla fine.

Per i pannelli fotovoltaici infatti sono stati impostati due nuovi parametri utili per il calcolo della produzione di energia: il fattore di efficienza che dipende dal tipo di ventilazione del pannello e il fattore di potenza in funzione della tipologia e del materiale del pannello, in questo caso rispettivamente 0,75 e o,13. Queste caratteristiche traducono in maniera infomatizzata gli oggetti e attraverso relazioni interconnesse creano il database del modello.

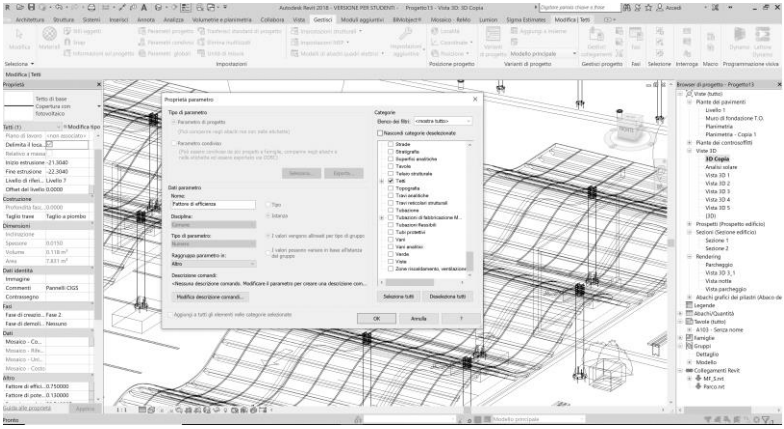


Figura 40: Crea nuovo parametro di istanza "Fattore di efficienza"

Dopo di che il modello è stato completato con il verde, la vasca per la bio-piscina, la cisterna

sotterranea, i dispositivi di illuminazione ed elementi di arredo urbano arricchendo nuovamente il modello sia dal punto di vista geometrico che informativo.

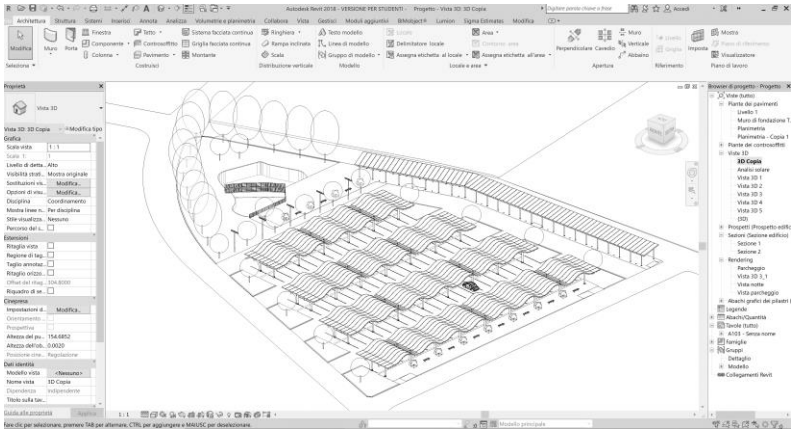


Figura 41: Modello BIM completo

Un'altra azione fondamentale è stata preparare un'organizzazione delle informazioni per evitare ostacoli e ottimizzare il processo: ad esempio, per evitare difficoltà legate ai nomi delle diverse famiglie, spesso si è modificato il parametro "Commenti" in modo da poter trovare e trattare facilmente i dati associati a quell'elemento nella fase di valutazione.

Lo scopo di questa modellazione non è quella di stimare in maniera precisa tempi e costi o quella di eseguire un dettagliato piano di manutenzione ma quello di poter effettuare determinate analisi di sostenibilità e ottimizzare le fasi successive: quando il modello avrà raggiunto un livello di

dettaglio maggiore in fase esecutiva o se vorremo confrontarlo con una soluzione progettuale diversa o quando in fasi più avanzate il modello inevitabilmente cambierà, i dati output che verranno calcolati successivamente e che restano in funzione dei dati interni ed esterni, saranno automaticamente aggiornati grazie a alla gestione di questi dati su Dynamo.

2.1.3 Analisi di sostenibilità (6D)

Quando si parla di sostenibilità ci riferiamo ad aspetti ambientali, sociali ed economici, ma calzare questi concetti su un'opera e quindi progettare in modo sostenibile non è mai stato semplice. Oggi però, con l'innovazione tecnologica e i nuovi strumenti a disposizione, si aprono nuovi scenari sulla possibilità di realizzare progetti di alta qualità. Basta pensare alle nuove analisi energetiche in regime dinamico o ai nuovi metodi di valutazione multicriterio come la certificazione LEED che possono usufruire dei dati sempre più numerosi e prossimi alla realtà fornendo output sempre più precisi. Supportato dall'interoperabilità tra software, questo nuovo modo di lavorare, permette di realizzare edifici più performanti.

Per quanto riguarda il progetto della tesi si è deciso di fare un'analisi solare con Insight 360, per ottenere dati precisi sull'irraggiamento che intercetta la copertura fotovoltaica, e un'analisi illuminotecnica con Dialux per verificare l'idoneità e la sostenibilità dell'impianto di illuminazione.

Figura 42: L'interoperabilità tra software e plug-in utilizzati

Per calcolare in maniera più efficiente la produzione di energia elettrica da fotovoltaico, vista anche la forma particolare della copertura, è stato necessario avere dati precisi della radiazione solare. Per questo si è deciso di installare **Insight 360**, un plug-in di Revit che consente di simulare un periodo temporale e calcolare l'energia solare captata da una o più superfici. È stato sufficiente impostare alcuni dati di input come il tipo di simulazione, le superfici su cui effettuare l'analisi, lo stile di rappresentazione, la modalità di esportazione, la località, i giorni e l'orario e il piano del terreno.

Figura 43: Dati di Input inseriti nell'analisi solare effettuata con Insight 360 su Revit

Il risultato è una rappresentazione grafica che sta ad indicare le aree maggiormente sottoposte a radiazione solare secondo una scala di colori che varia in funzione del tipo di analisi scelto.

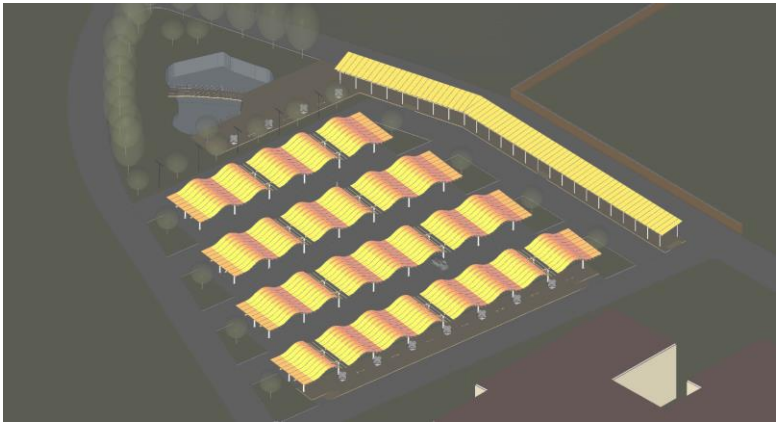
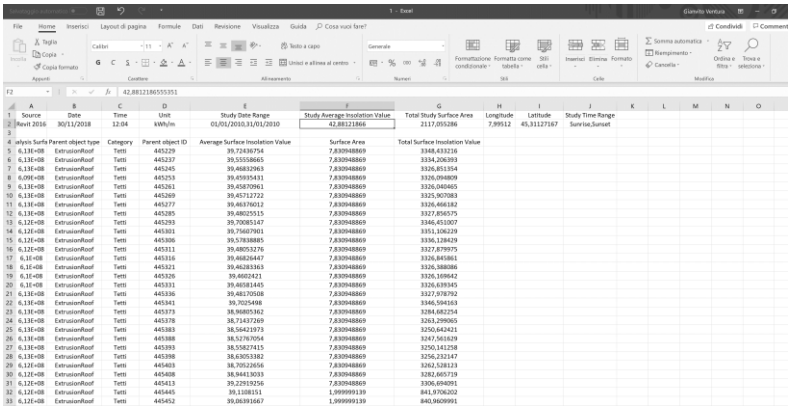


Figura 44: Analisi solare effettuata con Insight 360 su Revit relativa al periodo di gennaio

Il file Excel esportato dall'analisi solare è composto da dati di input inseriti nella simulazione come l'unità di misura, il periodo temporale e le coordinate dell'area, dati relativi al modello Revit come la superficie delle coperture adibite a fotovoltaico, la categoria degli elementi o il tipo e infine dati di output dell'analisi come l'irraggiamento globale mensile che tiene conto dell'irraggiamento medio giornaliero mensile, il numero dei giorni del mese e l'irradianza di riferimento, dato fondamentale per il calcolo della produzione di energia rinnovabile.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Source	Date	Time	Unit	Study Date Range	Study Average Insolation Value	Total Study Surface Area	Longitude	Latitude	Study Time Range					
2	Revit 2016	30/11/2018	12.04	kWh/m	01/01/2010,31/01/2010	42,88121866	2117,055286	7,99512	45,31127167	Sunrise,Sunset					
3															
4	alysis Surfa	Parent object type	Category	Parent object ID	Average Surface Insolation Value	Surface Area	Total Surface Insolation Value								
5	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445229	39,72436754	7,830948869	3348,433216								
6	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445237	39,53558665	7,830948869	3334,206393								
7	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445245	39,46832963	7,830948869	3326,851354								
8	6,09E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445253	39,45935431	7,830948869	3326,094809								
9	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445261	39,45870961	7,830948869	3326,040465								
10	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445269	39,45712722	7,830948869	3325,907083								
11	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445277	39,46376012	7,830948869	3326,466182								
12	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445285	39,48025515	7,830948869	3327,856575								
13	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445293	39,70085147	7,830948869	3346,451007								
14	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445301	39,75607901	7,830948869	3351,106229								
15	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445306	39,57838885	7,830948869	3336,128429								
16	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445311	39,48053276	7,830948869	3327,879975								
17	6,1E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445316	39,46826447	7,830948869	3326,843861								
18	6,1E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445321	39,46283363	7,830948869	3326,388086								
19	6,1E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445326	39,4602421	7,830948869	3326,169642								
20	6,1E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445331	39,46581445	7,830948869	3326,639345								
21	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445336	39,48170508	7,830948869	3327,978792								
22	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445341	39,7025498	7,830948869	3346,594163								
23	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445373	38,96805362	7,830948869	3284,682254								
24	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445378	38,71437269	7,830948869	3263,299065								
25	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445383	38,56421973	7,830948869	3250,642421								
26	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445388	38,52767054	7,830948869	3247,561829								
27	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445393	38,55827415	7,830948869	3250,141258								
28	6,13E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445398	38,63053382	7,830948869	3256,232147								
29	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445403	38,70522656	7,830948869	3262,528123								
30	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445408	38,94413033	7,830948869	3282,665719								
31	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445413	39,2291925	7,830948869	3306,694091								
32	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445445	39,1108151	1,999999139	841,9706202								
33	6,12E+08	ExtrusionRoof	Tetti	445452	39,06391667	1,999999139	840,9609991								

Figura 45: Dati esportati in Excel dall'analisi solare effettuata con Insight 360 relativa al periodo di gennaio

Per l'impianto di illuminazione è stato deciso di installare faretti per esterni al di sotto delle coperture che andassero a risaltare la struttura in legno e dei lampioni stradali lungo il perimetro garantendo un illuminamento medio di 10 lux come previsto da normativa. L'impianto è stato simulato e verificato attraverso il programma **Dialux** con il quale è stato possibile importare il modello IFC esportato da Revit perdendo pochissimi elementi tra cui proprio i dispositivi di illuminazione. Una complicanza che si è rivelata un vantaggio: infatti nel software vengono messi a disposizione dei cataloghi dai quali è possibile scegliere dispositivi realmente esistenti sul mercato con le rispettive caratteristiche tecniche. I diversi dati che entrano in ballo sono dunque prossimi alla realtà e consento una simulazione rapida e accurata dell'impianto nelle fasi iniziali di progetto in modo tale da non sottostimare o sovradimensionare l'impianto e

garanti i 6 lux di illuminamento richiesti dalle UNI 11248 e UNI 13201-2 per le zone di parcheggio.

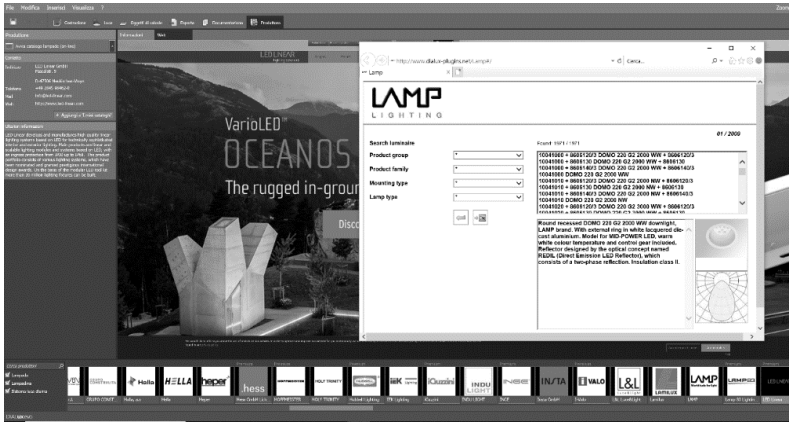


Figura 46: Cataloghi online dispositivi di illuminazione su Dialux

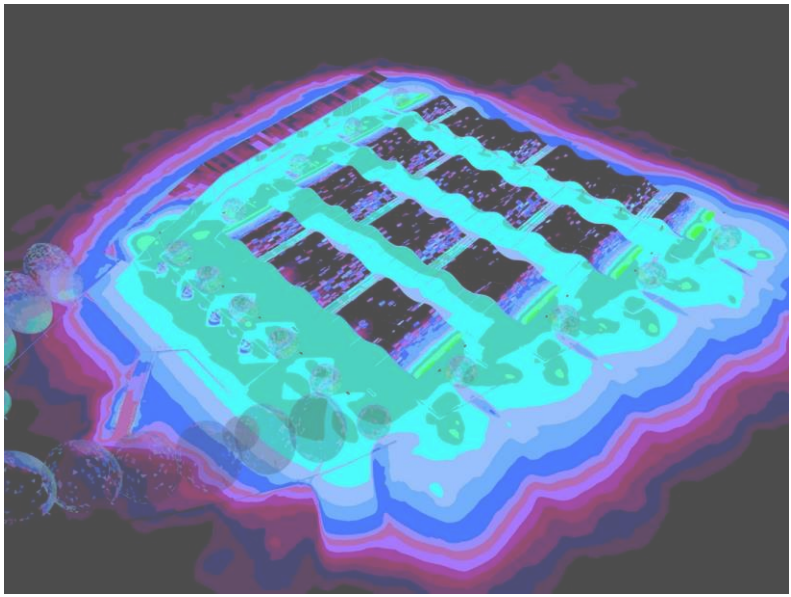


Figura 47: Analisi illuminotecnica effettuata con Dialux

2

METODOLOGIA

.1 FASE DI PROGETTO

.2 SISTEMA DI VALUTAZIONE

2.2.1 Massimo punteggio ottenibile

Una volta decise le principali soluzioni progettuali, dopo averle modellate e verificate attraverso analisi di sostenibilità ho calcolato il punteggio LEED relativo a crediti specifici di progetto del sistema di valutazione GBC Historic Building.

Secondo la tesi "BIM e GBC Historic Building: una proposta di riqualificazione energetica del Santuario del Trompone a Moncrivello (VC) per l'ottenimento della certificazione LEED sugli edifici storici" di Pietro Meneghello, studente del Politecnico di Torino e tesista facente parte del gruppo "BIM for Health", il punteggio massimo relativo al numero di crediti che il Santuario potrebbe raggiungere è di 93/100 ottenendo la certificazione LEED Platinum. Questo studio si basa su ipotesi progettuali come:

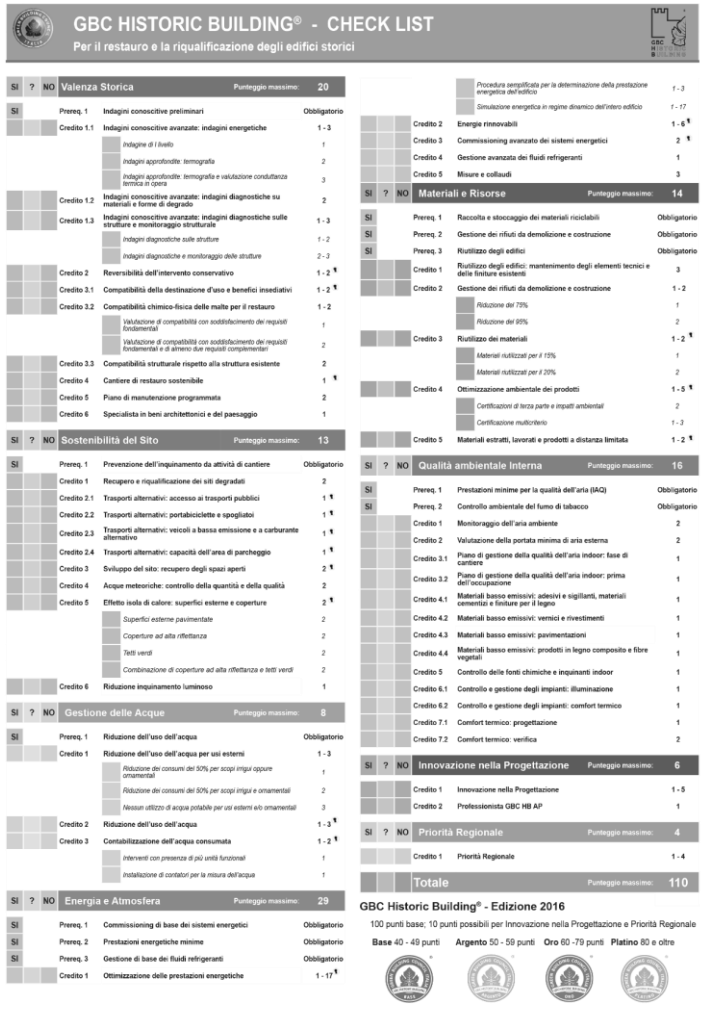
- un'analisi energetica dettagliata in regime dinamico dell'intero complesso;
- l'isolamento termico delle pareti perimetrali con un cappotto interno in Cartonlana;
- l'isolamento del sottotetto con fiocchi di cellulosa;
- il rifacimento del tetto a grondaie con l'aggiunta di un serbatoio interrato per la raccolta piovana;
- l'applicazione di un intonaco esterno traspirante, per evitare l'umidità di risalita;

- la sostituzione dei vecchi serramenti a singolo vetro con infissi performanti in legno con doppio vetro;
- la sostituzione dei rubinetti, soffioni doccia e cassette di scarico con quelle a risparmio idrico;
- la fornitura certificata di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili fuori sito;
- l'inserimento della ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore, per il controllo della qualità dell'aria interna e la gestione dell'umidità;
- l'utilizzo di tecnologie "a secco" per garantire la riversibilità dell'intervento;
- intonaci, malte, adesivi, sigillanti e pavimentazioni a basso contenuto di VOC e certificati GEV-Emicode;
- portabiciclette e posti auto riservati per auto elettriche con colonnina di ricarica;
- la progettazione di un parco esterno con giochi d'acqua e pavimentazioni chiare per diminuire l'effetto dell'isola di calore.

Queste ed altre strategie consentirebbero un notevole risparmio energetico con un costo totale approsimativamente tra i 2,5 e i 3 milioni di euro. In questo contesto ho deciso di calcolare i punteggi dei crediti più importanti relativi al mio progetto in modo tale da verificarne la fattibilità.

Per questo, nel capitolo seguente ho sperimentato un nuovo modo di lavorare il quale, attraverso la

gestione e alla visualizzazione delle informazioni, è stato possibile interrogare il modello e ottenere il punteggio relativo al credito 2 “Energie rinnovabili” della sezione *Energia e Atmosfera* e il credito 1 “Riduzione dell’uso dell’acqua per usi esterni” della sezione *Gestione dell’acqua* riscontrando diversi benefici.



GBC HISTORIC BUILDING® - CHECK LIST

Per il restauro e la riqualificazione degli edifici storici

SI	?	NO	Valenza Storica	Punteggio massimo:	20
SI			Prereq. 1 Indagini conoscitive preliminari		Obbligatorio
			Credito 1.1 Indagini conoscitive avanzate: indagini energetiche		1 - 3
			Indagine di I livello		*1*
			Indagini approfondite: termografia		*2*
			Indagini approfondite: termografia e valutazione conduttanza termica in opera		*3*
			Credito 1.2 Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche su materiali e forme di degrado		2
			Credito 1.3 Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche sulle strutture e monitoraggio strutturale		1 - 3
			Indagini diagnostiche sulle strutture		*1 - 2*
			Indagini diagnostiche e monitoraggio delle strutture		*2 - 3*
			Credito 2 Reversibilità dell’intervento conservativo		1 - 2
			Credito 3.1 Compatibilità della destinazione d’uso e benefici insediativi		1 - 2
			Credito 3.2 Compatibilità chimico-fisica delle malte per il restauro		1 - 2
			Valutazione di compatibilità con soddisfacimento dei requisiti fondamentali		*1*
			Valutazione di compatibilità con soddisfacimento dei requisiti fondamentali e di almeno due requisiti complementari		*2*
			Credito 3.3 Compatibilità strutturale rispetto alla struttura esistente		2
			Credito 4 Cantiere di restauro sostenibile		1
			Credito 5 Piano di manutenzione programmata		2
			Credito 6 Specialista in beni architettonici e del paesaggio		1

SI	?	NO	Sostenibilità del Sito	Punteggio massimo:	13
SI			Prereq. 1 Prevenzione dell’inquinamento da attività di cantiere		Obbligatorio
			Credito 1 Recupero e riqualificazione dei siti degradati		2
			Credito 2.1 Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici		1
			Credito 2.2 Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi		1
			Credito 2.3 Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo		1
			Credito 2.4 Trasporti alternativi: capacità dell’area di parcheggio		1
			Credito 3 Sviluppo del sito: recupero degli spazi aperti		2
			Credito 4 Acque meteoriche: controllo della quantità e della qualità		2
			Credito 5 Effetto isola di calore: superfici esterne e coperture		2
			Superfici esterne pavimentate		*2*
			Coperture ad alta riflettanza		*2*
			Tetti verdi		*2*
			Combinazione di coperture ad alta riflettanza e tetti verdi		*2*
			Credito 6 Riduzione inquinamento luminoso		1

SI	?	NO	Gestione delle Acque	Punteggio massimo:	8
SI			Prereq. 1 Riduzione dell’uso dell’acqua		Obbligatorio
			Credito 1 Riduzione dell’uso dell’acqua per usi esterni		1 - 3
			Riduzione dei consumi del 50% per scopi irrigui oppure ornamentali		*1*
			Riduzione dei consumi del 50% per scopi irrigui e ornamentali		*2*
			Nessun utilizzo di acqua potabile per usi esterni e/o ornamentali		*3*
			Credito 2 Riduzione dell’uso dell’acqua		1 - 3
			Credito 3 Contabilizzazione dell’acqua consumata		1 - 2
			Interventi con presenza di più unità funzionali		*1*
			Installazione di contatori per la misura dell’acqua		*1*

SI	?	NO	Energia e Atmosfera	Punteggio massimo:	29
SI			Prereq. 1 Commissioning di base dei sistemi energetici		Obbligatorio
SI			Prereq. 2 Prestazioni energetiche minime		Obbligatorio
SI			Prereq. 3 Gestione di base dei fluidi refrigeranti		Obbligatorio
			Credito 1 Ottimizzazione delle prestazioni energetiche		1 - 17
			Procedura semplificata per la determinazione della prestazione energetica dell’edificio		*1 - 3*
			Simulazione energetica in regime dinamico dell’intero edificio		*1 - 17*
			Credito 2 Energie rinnovabili		1 - 6
			Credito 3 Commissioning avanzato dei sistemi energetici		2
			Credito 4 Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti		1
			Credito 5 Misure e collaudi		3

SI	?	NO	Materiali e Risorse	Punteggio massimo:	14
SI			Prereq. 1 Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili		Obbligatorio
SI			Prereq. 2 Gestione dei rifiuti da demolizione e costruzione		Obbligatorio
SI			Prereq. 3 Riutilizzo degli edifici		Obbligatorio
			Credito 1 Riutilizzo degli edifici: mantenimento degli elementi tecnici e delle finiture esistenti		3
			Credito 2 Gestione dei rifiuti da demolizione e costruzione		1 - 2
			Riduzione del 75%		*1*
			Riduzione del 95%		*2*
			Credito 3 Riutilizzo dei materiali		1 - 2
			Materiali riutilizzati per il 15%		*1*
			Materiali riutilizzati per il 20%		*2*
			Credito 4 Ottimizzazione ambientale dei prodotti		1 - 5
			Certificazioni di terza parte e impatti ambientali		*2*
			Certificazione multicriterio		*1 - 3*
			Credito 5 Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata		1 - 2

SI	?	NO	Qualità ambientale Interna	Punteggio massimo:	16
SI			Prereq. 1 Prestazioni minime per la qualità dell’aria (IAQ)		Obbligatorio
SI			Prereq. 2 Controllo ambientale del fumo di tabacco		Obbligatorio
			Credito 1 Monitoraggio dell’aria ambiente		2
			Credito 2 Valutazione della portata minima di aria esterna		2
			Credito 3.1 Piano di gestione della qualità dell’aria indoor: fase di cantiere		1
			Credito 3.2 Piano di gestione della qualità dell’aria indoor: prima dell’occupazione		1
			Credito 4.1 Materiali basso emissivi: adesivi e sigillanti, materiali cementizi e finiture per il legno		1
			Credito 4.2 Materiali basso emissivi: vernici e rivestimenti		1
			Credito 4.3 Materiali basso emissivi: pavimentazioni		1
			Credito 4.4 Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali		1
			Credito 5 Controllo delle fonti chimiche e inquinanti indoor		1
			Credito 6.1 Controllo e gestione degli impianti: illuminazione		1
			Credito 6.2 Controllo e gestione degli impianti: comfort termico		1
			Credito 7.1 Comfort termico: progettazione		1
			Credito 7.2 Comfort termico: verifica		2

SI	?	NO	Innovazione nella Progettazione	Punteggio massimo:	6
			Credito 1 Innovazione nella Progettazione		1 - 5
			Credito 2 Professionista GBC HB AP		1

SI	?	NO	Priorità Regionale	Punteggio massimo:	4
			Credito 1 Priorità Regionale		1 - 4

			Totale	Punteggio massimo:	110

GBC Historic Building® - Edizione 2016

100 punti base; 10 punti possibili per Innovazione nella Progettazione e Priorità Regionale

Base 40 - 49 punti **Argento** 50 - 59 punti **Oro** 60 -79 punti **Platino** 80 e oltre

Figura 48: Check list del protocollo GBC Historic Buildin

2.2.2 Visual Programming Process

Nel primo caso si è scelto di verificare il credito 2 "**Energie Rinnovabili**" della sezione "Energia e Atmosfera" e il relativo punteggio che varia da 1 a 6 in funzione della percentuale di energia rinnovabile per compensare i fabbisogni di energia primaria del complesso. Secondo il "Sistema di verifica GBC Historic Building", per determinare il punteggio bisogna utilizzare la seguente tabella secondo l'opzione prescelta:

ENERGIA RINNOVABILE IN SITO	ENERGIA RINNOVABILE FUORI SITO	PUNTI ASSEGNATI
3%	25%	1
4,5%	37,5%	2
6%	50%	3
7,5%	62,5%	4
9%	75%	5
12%	100%	6

Figura 49: Tabella di valutazione del credito "Energie rinnovabili" secondo il Manuale GBC Historic Building

Nel caso studio si tratterebbe di energia rinnovabile prodotta direttamente in sito per cui per ottenere il massimo del punteggio serve soddisfare il 12% di energia primaria mediante energia rinnovabile. Per questo è stato necessario calcolare l'energia elettrica prodotta annualmente e, in funzione dei consumi annuali, calcolare la percentuale. La UNI/TS 11300-4:2012 consente di stimare la produzione di energia per ogni mese mediante la seguente formula:

$$E_{pv} = H_d * n_d * A_{pv} * k_{pv} * f_{pv} / I_{ref} * 1000$$

- E_{pv}: energia elettrica prodotta mensilmente dal sistema fotovoltaico;
- H_d: irraggiamento solare giornaliero medio mensile; [Wh/m^{2}giorno]
- N_d: numero di giorni del mese; [giorno]
- A_{pv}: superficie totale dei pannelli fotovoltaici; [m^2]
- k_{pv}: fattore di potenza; [-]
- f_{pv}: fattore di efficienza; [-]
- I_{ref}: irradianza solare di riferimento pari a 1; [kW/m^2]

Lo script realizzato per l'obiettivo prefissato risulta complesso e articolato per cui si è deciso di effettuare una strutturazione di nodi ben organizzata attraverso gruppi distinguibili in base alla colorazione a cui corrisponde una funzione specifica.

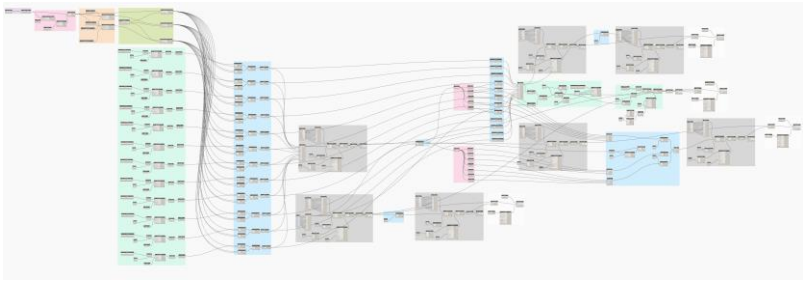
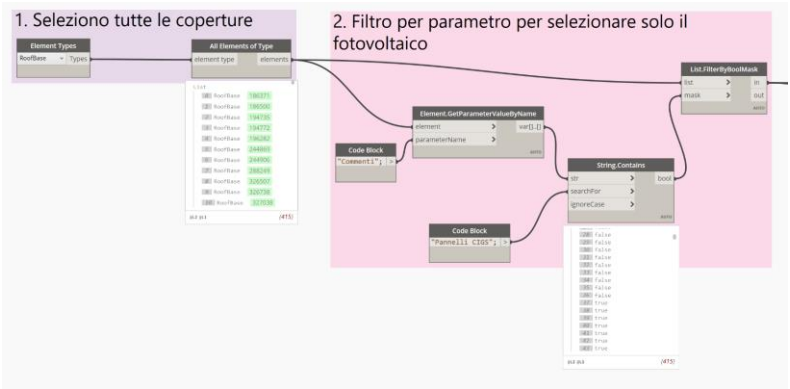


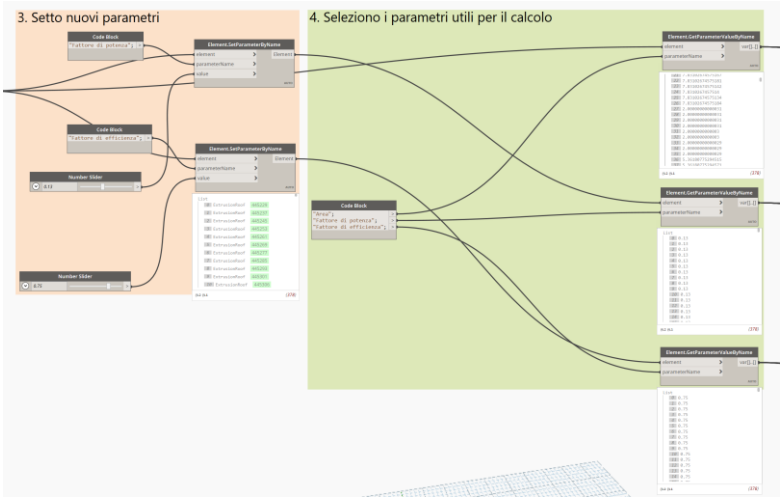
Figura 50: Intero script Dynamo per il calcolo del punteggio del credito "Energie rinnovabili"

Il primo passo (1) è stato quello di selezionare tutte le coperture del modello mediante i nodi "*Element Types"* e *"All Element of Type"*, quindi selezionando il tipo "Tetto di base" e successivamente tutti gli

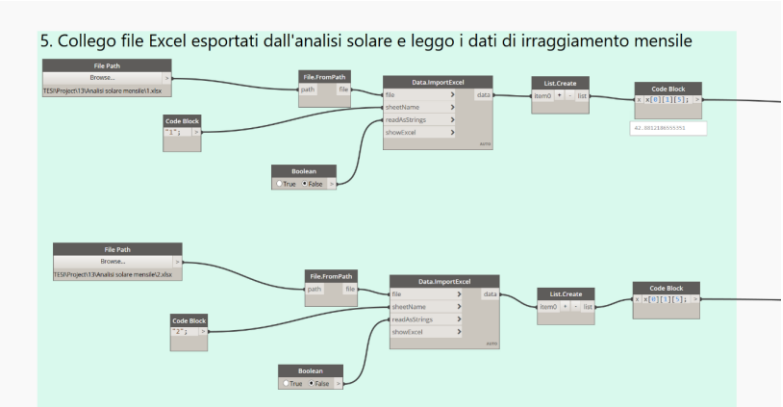
elementi appartenenti a quel tipo. Successivamente (2) ho filtrato la lista dei 415 elementi in funzione del parametro "Commenti": fornisco al nodo *"String Contains"* gli input necessari e mi fornisce una lista di vero o falso in base al possesso o meno del commento "Pannelli CIGS"; il nodo *"List Filter by Bool Mask"* filtra gli elementi in due liste (vero→in; falso→out). Quindi la sequenza logica dei primi nodi mi ha permesso di selezionare solo ed esclusivamente gli elementi copertura che posseggono il fotovoltaico.



Il terzo script (3) mi ha permesso di settare i due parametri precedentemente creati su Revit, "fattore di potenza" e "fattore di efficienza", per le coperture selezionate. Questo permetterà in un futuro di poter modificare i dati di input per un progetto simile. In questo caso corrispondono rispettivamente a 0,13 e a 0,75; nel quarto step (4) sono stati selezionati entrambi questi parametri e l'area di ciascun pannello fotovoltaico, dati che mi sono stati utili per i calcoli successivi.



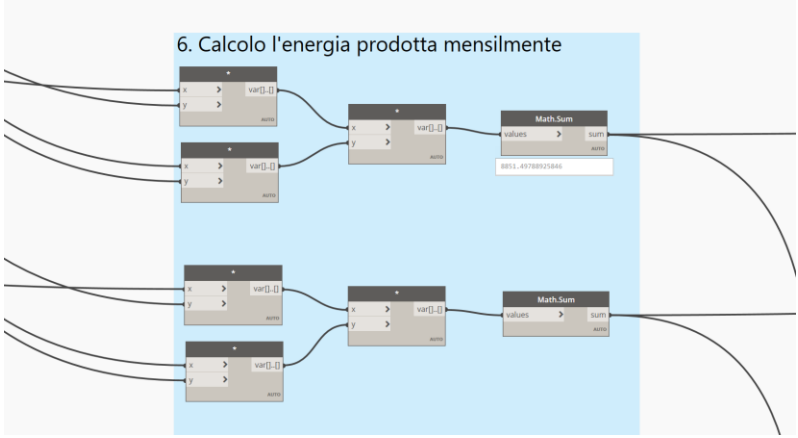
Successivamente (5) ho collegato un altro dato utile al calcolo, ossia l'irraggiamento globale mensile. Questo è stato possibile grazie al nodo "*Data Import Excel*" il quale, fornendogli dati di input come il percorso del file Excel e il nome del foglio, legge riga per riga tutti i dati contenuti nel file.



Tramite una funzione inserita nel nodo "*Code Block*" è stato possibile leggere il solo dato utile e selezionarlo per il calcolo. Lo script Dynamo si è

ripetuto per 12 volte collegando di volta in volta il file Excel esportato dalle analisi solari di ogni mese. Come si evince dallo script l'irraggiamento globale di gennaio corrisponde a circa 42 kWh/m^2.

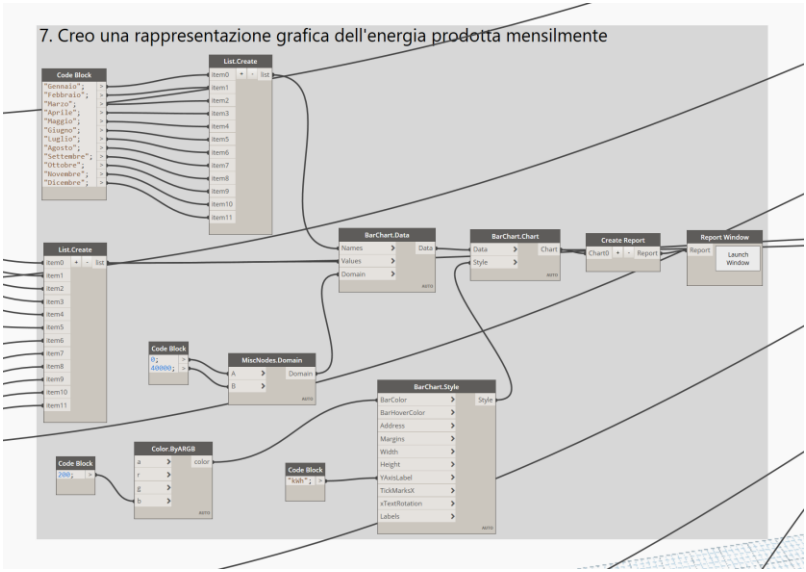
Nel sesto step (6) una volta selezionati l'area totale, i fattori di efficienza e di potenza e l'irraggiamento globale mensile, sono stati moltiplicati tra di loro per ottenere l'energia prodotta mensilmente. Per gennaio si tratta di circa 8850 kWh di energia elettrica prodotta.



Revit, per sua natura, è ottimo nella gestione dei dati e delle informazioni che ne derivano ma lascia a desiderare quando si tratta di rappresentarli, soprattutto nei grafici.

Con i nodi "Mandrill", scaricabili gratuitamente online, è possibile anche rappresentare i dati in maniera formale adatta alla comunicazione, interpretazione o alla lavorazione da parte di esseri umani o computer. Con il settimo script (7) infatti è

stato possibile mediante il nodo *"Bar Chart Data"* di inserire una lista di nominativi, una di valori e un dominio per avere dei dati pronti per essere graficizzati; con il nodo *"Create Report"* basta inserire l'output del precedente nodo e uno stile con colori, margini, dimensioni e titoli per ottenere il grafico, il quale è visualizzabile attraverso una finestra interattiva o una stampa PDF.



Come è possibile evincere dal grafico l'energia prodotta a gennaio rispetta quella precedentemente calcolata di circa 8850 kWh. La produzione di energia elettrica, essendo in funzione della radiazione solare, va dalla minima di dicembre di circa 8.000 kWh ai quasi 40.000 di luglio.

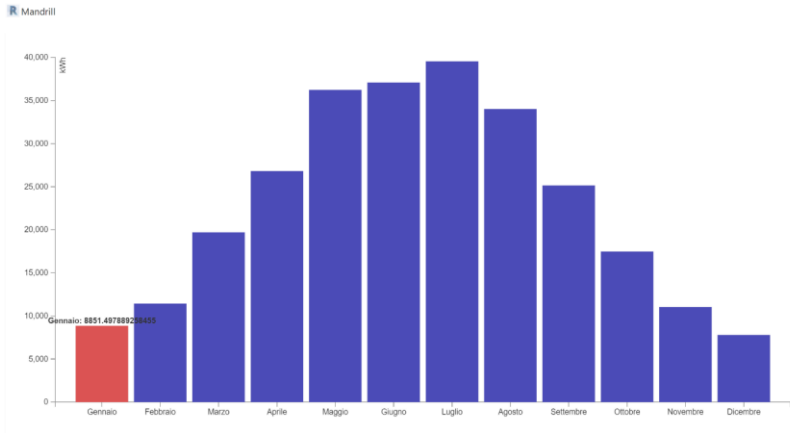


Figura 51: Produzione di energia rinnovabile mensile

Attraverso lo stesso script, inserendo dati di consumo, relativi alle bollette del Santuario risalenti al 2016, è stato possibile graficizzare anche questi. Come è possibile notare, a differenza dell'energia prodotta, i consumi sono abbastanza lineari e oscillano tra i 20.000 e i 30.000 kWh consumati mensilmente.

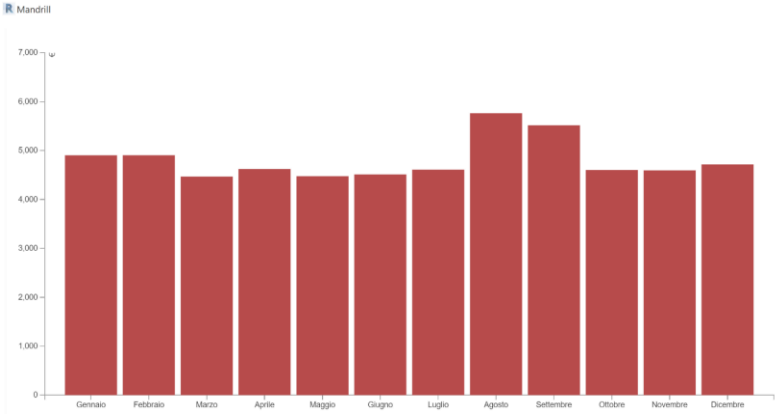
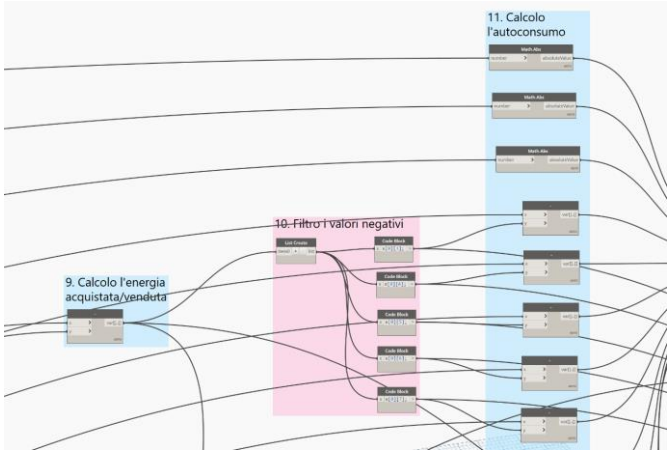


Figura 52: Consumi elettrici mensili del Santuario e del Convento del Trompone

Per ottenere la percentuale di fabbisogno soddisfatto da energia rinnovabile, ho dovuto calcolare in precedenza l'autoconsumo energetico, ovvero l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico direttamente utilizzata per le utenze. Per questo si è calcolata ancor prima l'eventuale energia che il complesso acquisterebbe nei mesi in cui l'impianto non soddisfa il fabbisogno o venderebbe nei mesi in cui se ne produce più del dovuto. Sottraendo all'energia prodotta mensilmente quella consumata nello stesso periodo si ottiene una lista di valori che in funzione del mese possono essere positivi o negativi (9). Quelli negativi stanno ad indicare che in quel mese verrà acquistata quell'energia, se positivo invece, verrà venduta. Per calcolare l'autoconsumo è stato necessario separare i valori positivi e negativi (10): nel mese in cui bisogna acquistare energia l'autoconsumo corrisponderà all'energia prodotta in quel mese, mentre nei mesi in cui si vende energia l'autoconsumo sarà dato dall'energia prodotta meno quella da vendere (11).



È bastato sovrapporre i 3 grafici per ottenere un bilancio energetico totale con l'energia autoconsumata, quella da vendere e quella da acquistare mese per mese.

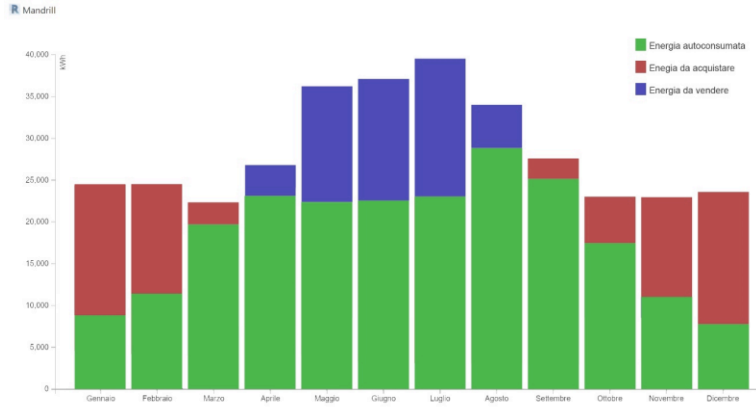


Figura 53: Bilancio energetico con il sistema fotovoltaico

Una volta calcolato l'autoconsumo è bastato creare uno script (13) che somma questi valori e li divide per la somma dei consumi. Il risultato di 0.76 sta ad indicare che l'energia rinnovabile prodotta dal sistema fotovoltaico soddisfa circa il 76 % del fabbisogno annuale di energia primaria.

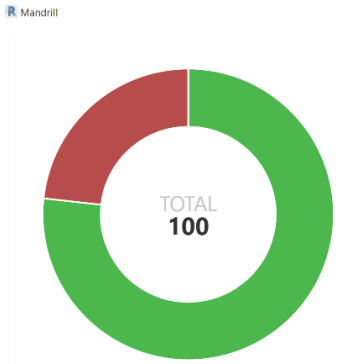
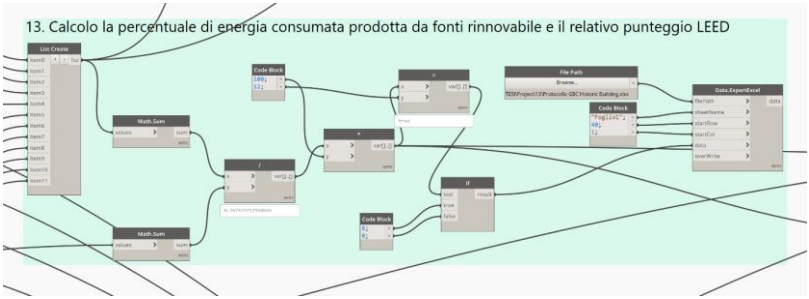
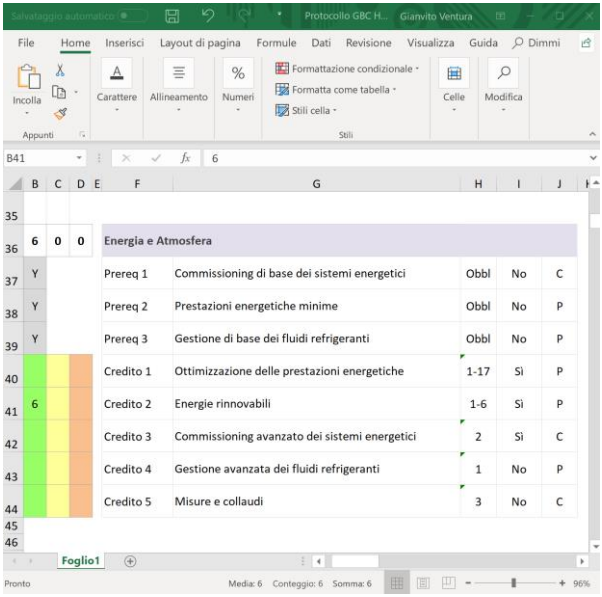


Figura 54: Percentuale di fabbisogno di energia elettrica soddisfatta energia rinnovabile

A questo punto mediante il nodo *"If"* ho stabilito una condizione: se il risultato è maggiore di 12 (Vedi tabella) l'output di questo nodo risulta 6, ovvero il punteggio massimo per il credito.



Il risultato viene direttamente scritto nel file Excel con il nodo *"Data Export Excel"* al quale è necessario collegare il percorso del file, il nome del foglio di lavoro, la posizione in cui scrivere il risultato e il dato stesso.



35								
36	6	0	0	Energia e Atmosfera				
37	Y			Prereq 1	Commissioning di base dei sistemi energetici	Obbl	No	C
38	Y			Prereq 2	Prestazioni energetiche minime	Obbl	No	P
39	Y			Prereq 3	Gestione di base dei fluidi refrigeranti	Obbl	No	P
40				Credito 1	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	1-17	Si	P
41	6			Credito 2	Energie rinnovabili	1-6	Si	P
42				Credito 3	Commissioning avanzato dei sistemi energetici	2	Si	C
43				Credito 4	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti	1	No	P
44				Credito 5	Misure e collaudi	3	No	C
45								
46								

Infine sono stati calcolati i nuovi consumi sia in termini energetici che economi. I dati energetici sono stati rivisitati anche dal punto di vista economico considerando che l'elettricità ha un costo di circa 0,20 € al kWh mentre quella in eccesso viene venduta alla rete locale per circa 0,05 € al kWh. I consumi di elettricità attuali annui sono circa 280.000 kWh e corrispondono dunque a 56.000 € annui; con un intervento del genere si andrebbe a risparmiare suppergiù 44.000 € all'anno con autoconsumo di 220.000 kWh. Nei mesi più freddi sarà necessario acquistare l'energia rimanente di 60.000 kWh per un totale di circa 12.000 €, mentre nei mesi più caldi sarà possibile vendere approssimativamente 55.000 kWh per poco meno di 3.000 € abbassando i consumi annuali da 56.000 a 9.000 €.

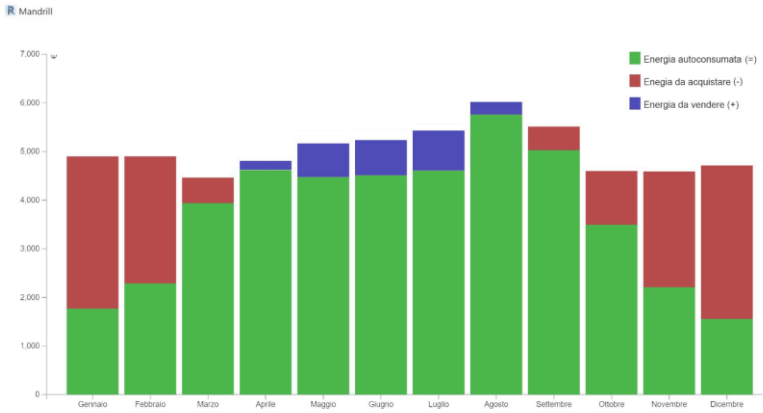


Figura 55: *Bilancio economico con il sistema fotovoltaico*

Nel secondo script è stato calcolato il credito 1 "**Riduzione dell'uso dell'acqua per usi esterni**" della sezione "Gestione delle Acque". Secondo il "Sistema di verifica GBC Historic Building" il punteggio varia da 1 a 3 in funzione della percentuale di fabbisogno di acqua per irrigazione dell'intero complesso soddisfatto dalla raccolta di acqua piovana.

RIDUZIONE PERCENTUALE	PUNTI ASSEGNATI
50 %	1
75 %	2
100 %	3

Figura 56: Tabella di valutazione del credito "Riduzione dell'uso dell'acqua per usi esterni" secondo il Manuale GBC Historic Building

L'obiettivo nel caso studio è ridurre del 100% l'uso dell'acqua per irrigazione per ottenere il massimo del punteggio. Per questo lo script Dynamo consente di calcolare il volume d'acqua piovana raccolta e destinata a irrigazione e, in funzione del fabbisogno, la percentuale di riduzione. Il fabbisogno e il volume d'acqua raccolta sono stati calcolati con le formule seguenti:

$$VMF = \Sigma A * F / 1000$$

- VMF: Volume massimo di fabbisogno per irrigazione; [m^3]
- F: fabbisogno base di acqua per irrigazione; [m^3]

- ΣA: sommatoria delle superfici verdi da irrigare; [m^2]

$$\mathbf{VMC = S \cdot I \cdot \phi \ / \ 1000 \quad [m^3]}$$

- VMC: volume massimo cumulabile di acqua piovana raccolta e destinata a irrigazione; [m^3]
- S: superficie dell'area di captazione; [m^2]
- I: Intensità delle precipitazioni annua; [mm]
- ϕ: coefficiente di deflusso in funzione della natura delle superficie esposte alla pioggia[-]

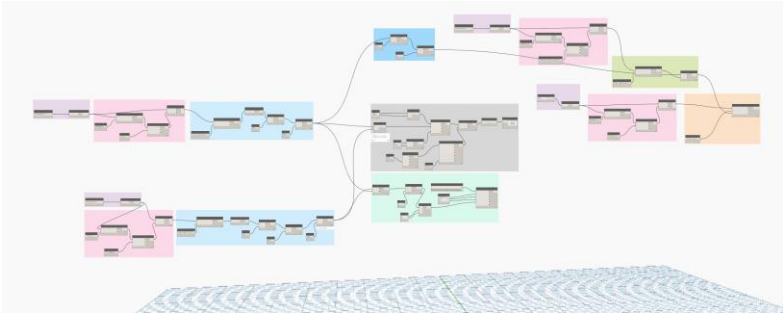
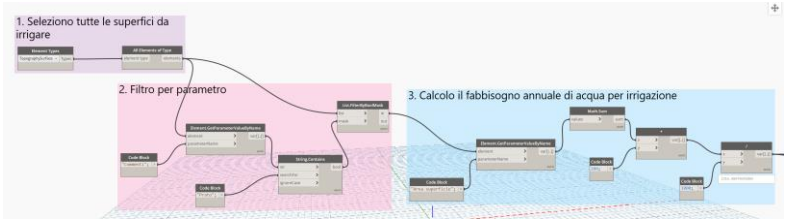
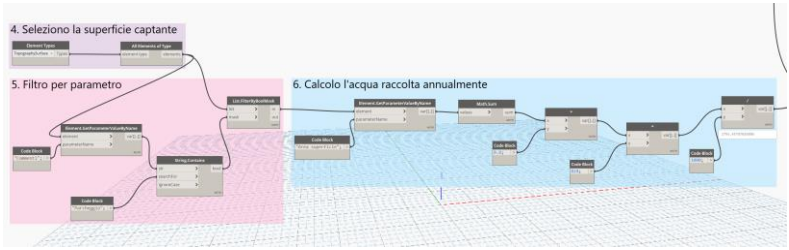


Figura 57: Intero script Dynamo per il calcolo del punteggio del credito "Riduzione dell'uso dell'acqua per usi esterni"

Allo stesso modo dello script precedente sono stati selezionati elementi del modello (1), filtrati in funzione di un parametro (2) e selezionati parametri utili per il calcolo. Una volta selezionato tutte le superfici da irrigare come i giardini esterni, orti didattici del parco e le aree verdi di tutto il complesso per un totale di circa 11.500 m^2, è stato possibile stimare il fabbisogno annuale di acqua per irrigazione (3) che corrisponde a circa 2316 m^3 d'acqua all'anno.



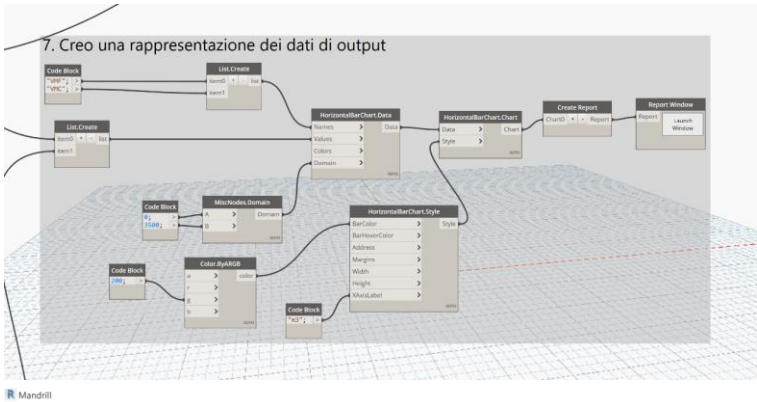
Con gli script successivi (4-5-6-7) è stata selezionata l'area della piastra mineralizzata del parcheggio e, collegando i dati relativi all'intensità di precipitazione di 824,3 mm annui, è stato possibile calcolare il volume d'acqua massimo cumulabile in un anno che risulta essere 2795,5 m^3 superando l'intero fabbisogno per irrigazione.



VERCELLI	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	4,6	8,4	13,1	18,3	22,7	26,7	29,2	28,3	24,7	18,3	10,6	5,3	**6,1**	**18,0**	**28,1**	**17,9**	**17,5**
T. min. media (°C)	−3,4	−2,0	1,5	6,4	12,3	16,2	17,7	16,2	11,8	7,0	2,8	−1,7	**−2,4**	**6,7**	**16,7**	**7,2**	**7,1**
Precipitazioni (mm)	44,4	46,7	62,8	82,2	93,2	73,6	54,2	61,0	70,8	88,4	93,0	54,0	**145,1**	**238,2**	**188,8**	**252,2**	**824,3**
Giorni di pioggia	4,9	4,4	5,8	7,2	8,5	6,8	4,9	5,7	5,5	6,9	6,9	5,4	**14,7**	**21,5**	**17,4**	**19,3**	**72,9**
Umidità relativa media (%)	84	78	70	66	65	65	64	68	73	79	84	85	**82,3**	**67**	**65,7**	**78,7**	**73,4**
Eliofania assoluta (ore al giorno)	2,3	3,6	4,5	5,6	6,4	7,8	8,6	7,6	5,2	3,4	2,4	2,0	**2,6**	**5,5**	**8,0**	**3,7**	**5,0**
Vento (direzione-m/s)	WSW 2,1	SSW 2,9	SSW 4,0	SSW 5,1	S 4,9	SSW 4,1	SSW 3,2	SSW 2,7	SSW 2,6	SSW 2,4	N 2,3	WSW 2,0	**2,3**	**4,7**	**3,3**	**2,4**	**3,2**

Figura 58: Tabella climatica mensile ed annuale di Vercelli secondo l'archivio climatico DBT, ENEA

Con gli stessi nodi Mandrill visti in precedenza, anche questi dati vengono graficizzati e resi visibili per una rappresentazione più diretta e comunicativa.



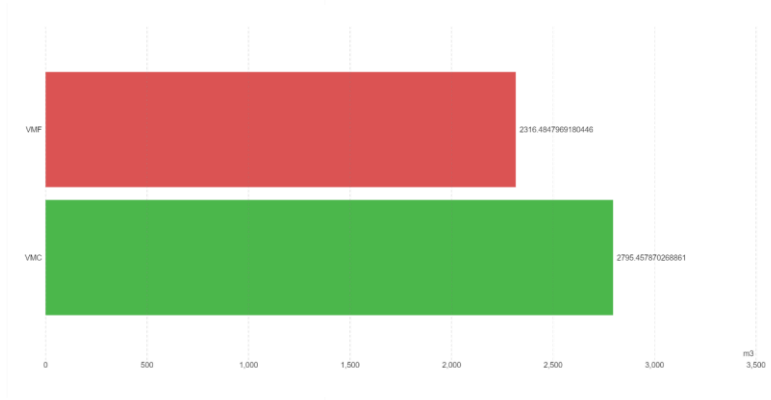
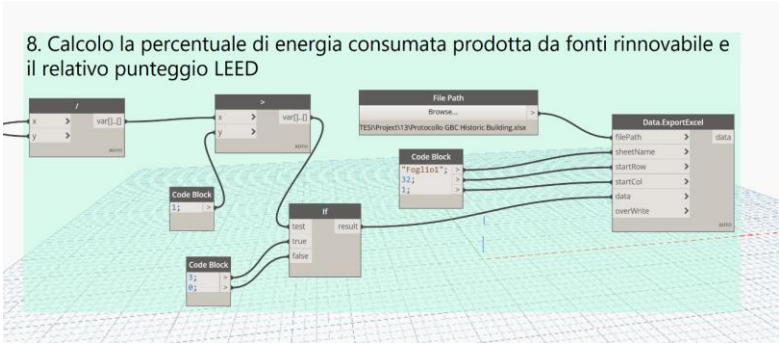
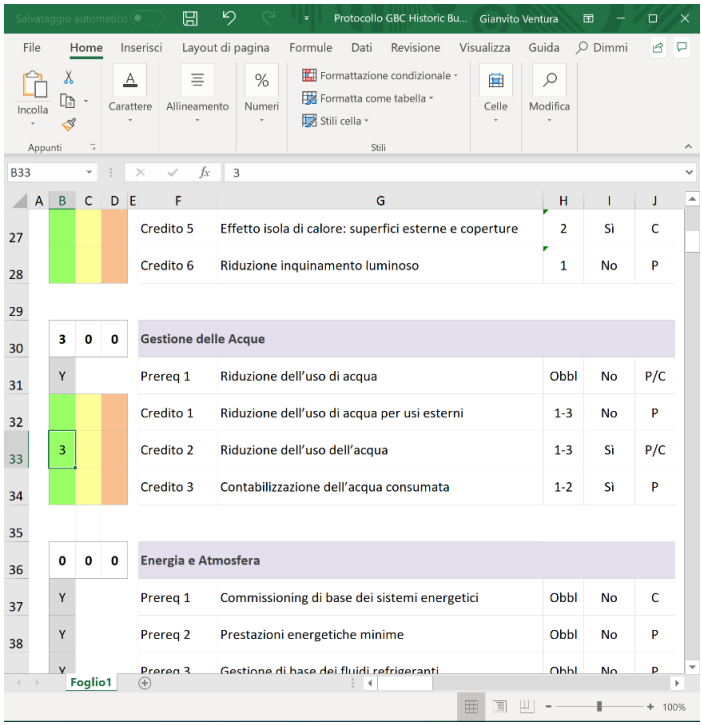


Figura 59: VMF e VMC

Dividendo il volume d'acqua raccolto in un anno con il fabbisogno annuale (8) viene calcolata la percentuale di riduzione che inevitabilmente sarà maggiore del 100 %; è comunque necessario calcolarla per stabilire la condizione e verificare il conseguente punteggio del credito LEED.
Nuovo nodo *"If"*, *nuova* condizione: se il risultato è maggiore di 100 l'output di questo nodo risulta 3, il punteggio massimo per il credito.



Il risultato viene nuovamente scritto nel file Excel con il nodo *"Data Export Excel"* (9) con lo stesso percorso del file, quindi andrà a completare un'altra casella del protocollo:



In questo caso ho utilizzato ulteriori script per il dimensionamento di una eventuale cisterna sotterranea che sostituisca la bio piscina per un intervento più economico, mediante le seguenti formule:

TSM = (365 - G) / 12

- TMS: tempo medio secco; [gg]
- G: numero di giorni piovosi in un anno; [gg]

VC = TSM · (VMF / 365) se VMC>VMF

VC = TSM · (VMC / 365) se VMC<VMF

- VC: volume della cisterna; [m^3]
- TMS: tempo medio secco; [gg]
- VMF: Volume massimo di fabbisogno per irrigazione; [m^3]

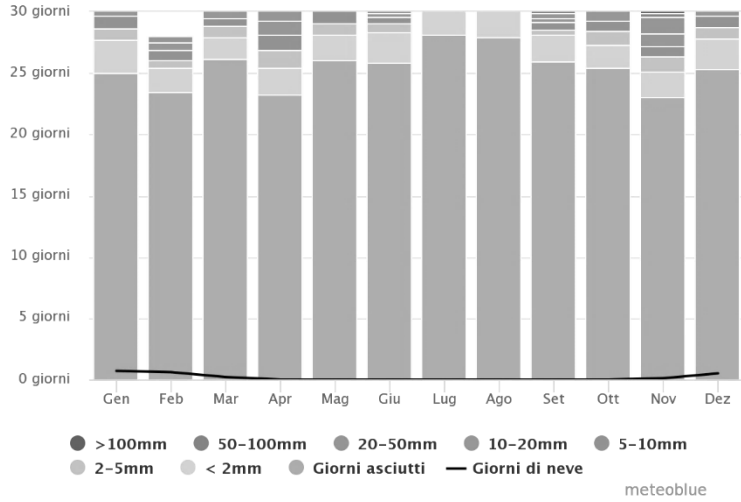


Figura 60: Giorni asciutti e piovosi a Vercelli secondo Meteoblue

Il tempo medio secco è un parametro fondamentale per il dimensionamento dell'impianto. Esso ci indica quanti giorni dell'anno il sistema di acqua piovana dovrà andare in autonomia poiché c'è assenza di precipitazioni. Secondo i dati Meteoblue, a Vercelli ci sono in media 305 giorni asciutti e 60 piovosi per cui il tempo medio secco risulta di 25 giorni. A questo punto suddivido l'intero fabbisogno per i giorni dell'anno e lo moltiplico per il tempo medio secco (7) così da ottenere il volume della cisterna sotterranea che dovrà essere di 31 m^3.

3

RISULTATI

.1 OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO

3.1.1 Progetto finale

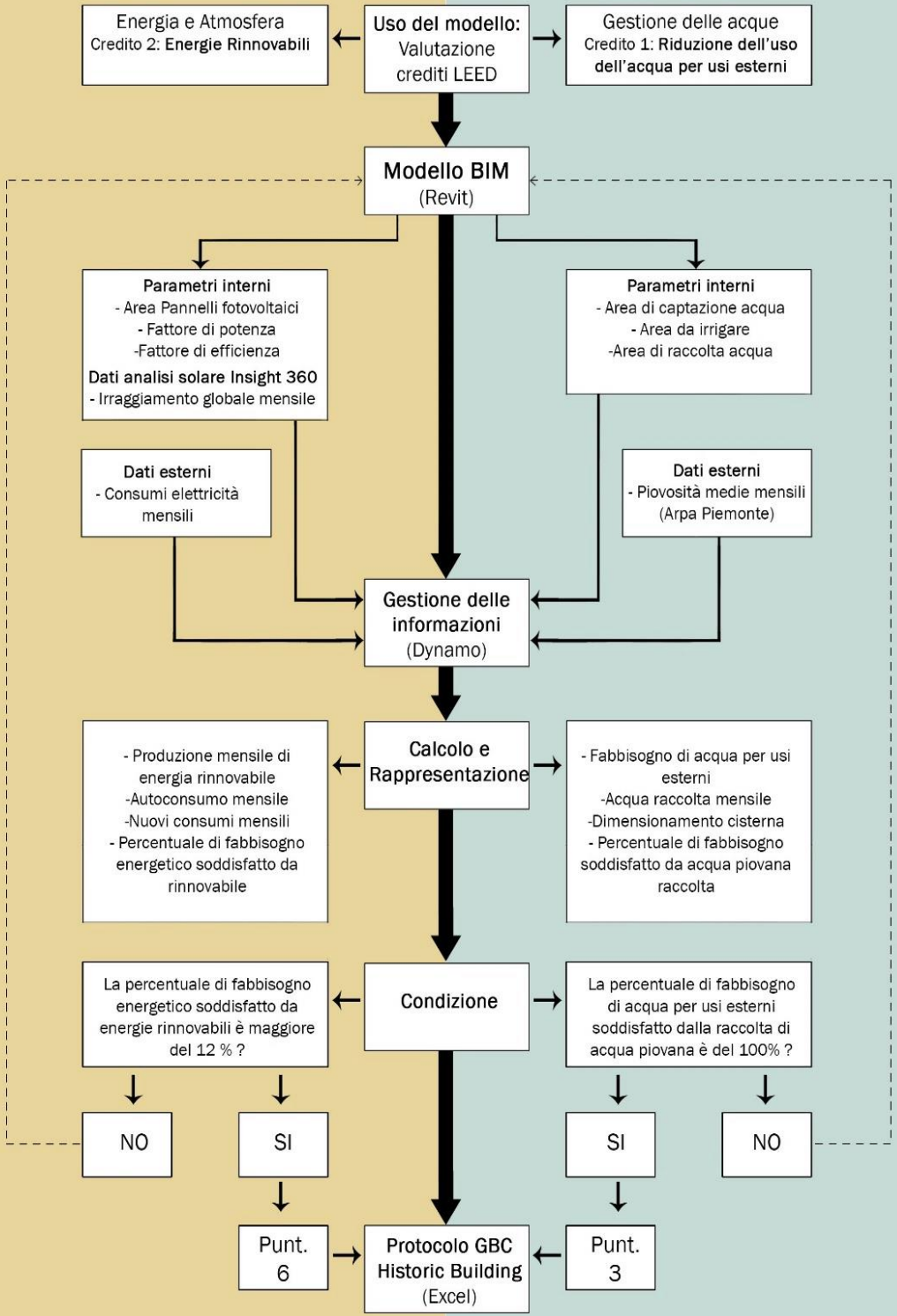
Il progetto, attraverso questa metodologia, risulta efficiente già nelle fasi decisionali: un parcheggio intelligente capace di migliorare il benessere degli utenti del complesso con un impatto oltre che sociale ed ambientale, anche economico. Da un bilancio totale infatti, si può notare che circa 2 mila m^2 di pannelli CIGS con una potenza nominale di 250 kW, consentono di soddisfare ¾ del fabbisogno annuale di energia elettrica del complesso diminuendo, azzerando, o addirittura portando in positivo, la bolletta della luce. Un'ultima considerazione è la differenza del grafico energetico e quello economico: è possibile notare come l'energia venduta, a causa del diverso prezzo di mercato, non porta un guadagno notevole; la soluzione ideale potrebbe essere quella di rafforzare il sistema di raffrescamento per sfruttare a pieno l'energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico risparmiando maggiormente. Infine, considerando un risparmio annuo di circa 47.000 € e che l'intervento del solo impianto fotovoltaico ammonterebbe approssimativamente a 550.000 €, dove i pannelli incidono per circa il 45 %, l'inverter, quadri e cavi per il 20%, la struttura di supporto per il 15% e le spese di progettazione e installazione per il restante 20%, il payback period è inferiore a 11 anni senza valutare gli incentivi e le detrazioni fiscali per un intervento del genere che di solito ammontano al 50 % dell'importo totale.

3.1.2 BIM Workflow

In definitiva con la metodologia BIM, caratterizzata in questo caso dall'interoperabilità Revit-Dynamo, sono riuscito a creare un percorso alternativo per verificare la sostenibilità dell'intervento; mi ha permesso di collegare dati esterni, informazioni presenti nel modello, effettuare calcoli di dimensionamento, attribuire nuovi valori a parametri di progetto, rappresentare attraverso grafici i diversi dati ottenuti, calcolare il punteggio LEED dei relativi crediti, compilare il protocollo GBC Historic Building in un file excel e creare PDF per una comunicazione più formale dei dati.

Ma non è tutto, perché i benefici di lavorare con questo metodo sono diversi e influiscono in fase di progettazione più avanzata. Quando inevitabilmente il progetto e quindi il modello muteranno, basterà riavviare lo script Dynamo per ottenere i nuovi dati, nuove rappresentazioni grafiche e la verifica del punteggio LEED. Inoltre la strutturazione dello script è stata pensata per poter essere riutilizzata per progetti simili, per calcolare gli stessi dati e gli stessi crediti di un altro progetto: basterà infatti modificare i dati di input come i fattori di efficienza e di potenza se dovesse cambiare la tipologia di pannello o i dati dell'analisi solare se il progetto non dovesse essere più localizzato a Moncrivello.

Il prezzo da pagare è sicuramente uno sforzo progettuale molto più elevato inizialmente che, proprio come la curva di MacLeamy vista nei capitoli precedenti, risulta essere la caratteristica principale della metodologia BIM con la diminuzione delle tempistiche e dei costi nelle fasi più inoltrate.


Energia e Atmosfera
Credito 2: Energie Rinnovabili
Uso del modello: Valutazione crediti LEED
Gestione delle acque
Credito 1: Riduzione dell'uso dell'acqua per usi esterni
Modello BIM (Revit)
Parametri interni
- Area Pannelli fotovoltaici
- Fattore di potenza
-Fattore di efficienza
Dati analisi solare Insight 360
- Irraggiamento globale mensile
Parametri interni
- Area di captazione acqua
- Area da irrigare
-Area di raccolta acqua
Dati esterni
- Consumi elettricità mensili
Dati esterni
- Piovosità medie mensili (Arpa Piemonte)
Gestione delle informazioni (Dynamo)
- Produzione mensile di energia rinnovabile
-Autoconsumo mensile
-Nuovi consumi mensili
- Percentuale di fabbisogno energetico soddisfatto da rinnovabile
Calcolo e Rappresentazione
- Fabbisogno di acqua per usi esterni
-Acqua raccolta mensile
-Dimensionamento cisterna
- Percentuale di fabbisogno soddisfatto da acqua piovana raccolta
La percentuale di fabbisogno energetico soddisfatto da energie rinnovabili è maggiore del 12 % ?
Condizione
La percentuale di fabbisogno di acqua per usi esterni soddisfatto dalla raccolta di acqua piovana è del 100% ?
NO
SI
SI
NO
Punt. 6
Protocollo GBC Historic Building (Excel)
Punt. 3

4

CONCLUSIONI

4.1 Sviluppi futuri

Una semplice applicazione che, attraverso l'inserimento dei diversi input nel modello, è in grado di eseguire le formule LEED e compilare due crediti del protocollo GBC Historic Building. E perché non dovremmo andare oltre? Uno script con il quale è possibile interrogare ogni progetto e dunque ogni modello, se preimpostato, per ogni credito LEED e calcolare in maniera automatica il punteggio finale con una rappresentazione automatica di tutti i dati. Questo è solo un esempio di ottimizzazione del flusso informativo ma che dimostra le potenzialità di questa nuova metodologia la quale è in continua crescita e non si pone limiti all'ottimizzazione del processo.

Jochen Köckler, Presidente del CdA di Deutsche Messe, in chiusura di HANNOVER MESSE e di CeMAT a tal proposito, ha dichiarato: *<<La tecnologia non fa concorrenza all'uomo. Lo aiuta... È l'uomo che decide e stabilisce che cosa deve essere fatto, ma la sua azione congiunta con la macchina e con l'IT genera un enorme vantaggio competitivo>>.*

La grande mole di dati disponibile e digitalizzabili e la complessità delle strategie progettuali sostenibili crea un forte legame tra architettura e tecnologia. I nuovi strumenti a disposizione ci fanno vivere i progetti ancor prima di realizzarli, ma anche simulare il loro reale comportamento e di conseguenza è possibile migliorare le loro

prestazioni in termini di qualità e sostenibilità. Abbiamo la possibilità di trasformare il design in un vero processo di integrazione e gestire sfide sempre più complesse e puntare ad una qualità fino ad oggi impensabile rendendo sostenibile non solo l'architettura, ma anche la vita dell'uomo e del suo lavoro.

R I F E R I M E N T I

Bibliografia:

- Osello A., “Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti”, Politecnico di Torino, Flaccovio Dario, 2012.

- Eastman C., Teicholz P., Sacks R. e Liston K., “BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”, 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 2011.

- Cooperative Research Centre for Construction Innovation, National Guidelines for Digital Modelling, CRC, Brisbane, Australia, 2009.

- Gallo P. (ed.), Progettazione sostenibile, Alinea, Firenze 2005.

- Green Building Council Italia, “Manuale GBC Historic Building. Per il restauro e la riqualificazione sostenibile degli edifici storici”, GBC Italia, 2015.

- Silenziosi Operai Della Croce, “La Beate Vergine potente del Trompone”, Istituto Salesiano Pio XI, Roma, 2016.

- Claudio Campanini, “Il bio lago balneabile: Pensare, progettare e costruire la balneazione artificiale”, vol. 13 di eBook del Portale del Verde, 2014

Paper scientifici:

- Daheim, Cornelia & Störmer, Eckhard & Patscha, Cornelius & Prendergast, Jessica & Rhisiart, Martin, "The Future of Work: Jobs and Skills in 2030", UK Commission for Employment and Skills, 2014

- Luisa Bordoni e Maurizio Mamoli, "Il digitale in Italia, Competenze digitali: le iniziative per colmare i gap", 2017

- Mark Prensky, "Digital Natives, Digital Immigrants", From On the Horizon, MCB University Press, Vol. 9 No. 5, 2001

- Crutzen P.J. The "Anthropocene". In: Ehlers E., Krafft T. (eds) Earth System Science in the Anthropocene. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006

- IPCC, intergovermental panel on Climate Change: "Global Warming of 1,5°,2018

- Erling Holden, Kristin Linnerud, David Banister, "Sustainable development: Our Common Future revisited" Global Environmental Change, Volume 26, 2014

- Marty R., **"**End-To-End Collaboration Enabled by BIM Level 3**:** An Architecture, Engineering & Construction Industry Solution Based on Manufacturing Best Practices", 2014

Tesi consultate:

- Montaldo F., “BIM for project management in federated models: The Trompone case study”, Relatore: Anna Osello, Correlatore: Matteo Del Giudice

- Meneghello P., “BIM e GBC Historic Building: una proposta di riqualificazione energetica del Santuario del Trompone a Moncrivello (VC) per l'ottenimento della certificazione LEED sugli edifici storici”, Relatore: Anna Osello, Correlatore: Matteo del Giudice

Riferimenti normativi:

- UNI 11337:2017
- PAS 1192:2013
- UNI/TS 11300-4:2012
- UNI 11248 e UNI 13201-2
- E-DIN 1988/DIN 1989

Sitografia:

- www.autodesk.it/products/revit/overview
- www.drawingtothefuture.polito.it
- www.ilo.org/global/lang--en/index.htm
- www.ingenio-web.it
- www.acca.it
- www.usgbc.org
- www.gbcitalia.org
- www.trompone.it
- www.dynamobim.org
- www.bim.acca.it/?utm_source=biblus-net
- www.fotovoltaiconorditalia.it/mondo-fotovoltaico/pannelli-fotovoltaici-cigs-nuova-frontiera-del-film-sottile
- www.sistemieditoriali.it/catalogo/vse_as22.pdf

R I N G R A Z I A M E N T I

Un ringraziamento particolare va alla professoressa Anna Osello la quale mi ha trasmesso la passione per questa nuova “metodologia” di lavoro; ringrazio l’ingegnere Matteo del Giudice che mi ha accompagnato in questo percorso di tesi sostenendomi anche nei momenti più duri. Desidero ringraziare anche tutti i professori del Politecnico di Torino che ho incontrato durante questo percorso di studi perché ognuno di loro ha contribuito al mio percorso di crescita.

Ringrazio tutti i miei colleghi e amici universitari, in particolare David con il quale ho condiviso questo lungo viaggio diventando una spalla su cui contare. Ringrazio Pippo, Zaba e tutti i coinquilini con cui ho vissuto in questi 5 anni perché ognuno di loro ha contribuito a rendere unica quest’esperienza. Ringrazio i miei amici compaesani con cui ho passato momenti di assoluta spensieratezza tutte le volte che sono tornato a casa.

Ringrazio tutti i miei parenti, i nonni, gli zii e i cugini per il continuo sostegno. Menzione speciale per papà, mamma e Colette per aver reso possibile tutto ciò con sacrifici e amore. Infine ringrazio Co, una ragazza speciale che ha cambiato la mia vita e che ha sempre creduto in me.

Vi voglio bene.

Gianvito