

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering
Corso di laurea in Ingegneria Edile - Architettura
Anno accademico 2022 - 2023

Tesi di laurea

Topologic Dynamo: Concetti di Graph Theory per l'analisi dei percorsi nei modelli BIM

Allievo: Paolo Zorzi
Relatore: prof. Andrea Giordano
Correlatore: prof. Paolo Borin



Abstract

Nel campo AEC, la più grande innovazione dell'ultimo decennio è rappresentata dal graduale inserimento della modellazione BIM nel processo produttivo di tutte le opere architettoniche. L'obiettivo principale di questo nuovo metodo è la ricerca di una soluzione unica per quanto riguarda la documentazione e la raccolta di tutte le informazioni relative all'opera, al fine di evitare errori ed incongruenze che in seguito potrebbero tramutarsi in perdite in termini economici e nelle tempistiche di costruzione.

A fronte di grandi vantaggi, si possono individuare anche aspetti che ancora devono evolvere in modo approfondito.

Uno degli aspetti non ancora sviluppati in maniera esaustiva, e che quindi non è ancora di largo utilizzo tra i professionisti, è un supporto pratico per la fase di *pre design*, ossia la prima fase di progettazione, che permette la migliore comprensione di un edificio.

Nella fase di *pre design* diventa centrale la creazione di modelli concettuali che diano la possibilità ai progettisti di trasformare le idee in oggetti tangibili e ai committenti di figurare gli ambienti che verranno costruiti. Tramite la rappresentazione concettuale si entra in possesso di elaborati che permettono la migliore comprensione delle dinamiche spaziali e di movimento che poi effettivamente nell'edificio saranno presenti.

Tra le possibili rappresentazioni concettuali realizzabili per queste finalità, viene presa in esame la *Graph Theory (GT)*, una branca della matematica che presenta alcune caratteristiche che applicate all'architettura rendono possibile la schematizzazione delle scelte progettuali.

La *GT* pone le basi sulla rappresentazione di idee e concetti attraverso dei nodi che, in caso di relazione tra loro, vengono collegati attraverso delle linee.

In architettura, i nodi rappresentano i locali dell'edificio e le linee vengono riportate in caso di esistenza di un accesso reale tra due ambienti distinti.

Questo tipo di rappresentazione in architettura ha avuto degli utilizzi nel corso degli anni, riconoscendo quindi che la *GT* effettivamente può assumere un ruolo centrale nella rappresentazione concettuale e nella progettazione di un edificio.

L'obiettivo è quindi quello di valutare Topologic, un pacchetto di Dynamo che legge ed elabora le informazioni di un modello BIM, come possibile supporto per la creazione automatizzata di questo tipo di modellazione e per le successive analisi ed ispezione dei percorsi al suo interno. Questa valutazione viene fatta sulla base di un caso studio reale.

Sommario

Abstract	3
Indice delle figure	7
Background	11
Introduzione al BIM	11
Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo dei modelli BIM nel campo AEC	12
Il ruolo dei modelli concettuali nel processo di progettazione	16
Elementi geometrici e BIM	21
Definizione delle geometrie in Autodesk Revit	21
Concetti geometrici per la per la creazione di modelli concettuali	24
<i>Definizione delle geometrie</i>	25
<i>Geometrie non-manifold</i>	26
Importanza delle geometrie <i>non-manifold</i> nei modelli BIM per la creazione dei modelli concettuali	27
Graph Theory	31
Definizioni matematiche e concetti fondamentali	31
Proprietà esprimibili tramite la rappresentazione	32
<i>Nodo e attributi identificativi</i>	32
<i>Collegamento e grafici specifici</i>	33
<i>Proprietà dei collegamenti</i>	35
Esempi storici del GT nel campo dell'architettura	36
GT nel BIM, potenzialità e possibili utilizzi	43
<i>Accessibilità e percorsi</i>	44
<i>Sicurezza</i>	46
<i>Organizzazione</i>	47
Topologic Dynamo	49
VPL	49
Dynamo (Revit)	50
<i>Introduzione storica</i>	50
<i>Interfaccia e funzionamento</i>	51
<i>Organizzazione delle funzioni (categorie)</i>	52
<i>Pacchetti aggiuntivi</i>	55
Topologic	57
<i>Struttura gerarchica degli elementi topologici</i>	58
<i>Graph Theory in Topologic</i>	60
Elaborazioni avanzate del modello topologico	63
Applicazioni pratiche	67
Processo di mappatura di un edificio	68
Casi particolari	80
<i>Esistenza di più locali in uno stesso ambiente</i>	80
<i>Edifici dalla geometria complessa</i>	81
<i>Edifici con più piani</i>	82
<i>Edifici con locali privati</i>	84

Elaborazione della mappatura	85
Caso studio	88
<i>Mappatura dell'edificio</i>	89
<i>Simulazione sui percorsi interni tra locali, anche in piani differenti (L-L)</i>	90
<i>Simulazione sui percorsi per il raggiungimento delle uscite di sicurezza più vicine (L-U)</i>	92
Conclusioni	95
Bibliografia	97

Indice delle figure

Fig. 1 - Ciclo di vita di un'opera.....	11
Fig. 2 - Funzioni che collaborano all'interno del processo BIM	12
Fig. 3 - Multidisciplinarietà del BIM per la creazione di una stessa opera	13
Fig. 4 - Riassunto dei benefici del BIM nel processo produttivo di un'opera	14
Fig. 5 - Raccolta di modelli con diversa funzione all'interno dello stesso (architettonico/strutturale/concettuale/MEP).....	15
Fig. 6 – Rappresentazione concettuale di un edificio generico.....	16
Fig. 7 - Fase di <i>pre design</i> all'inizio di tutto il processo produttivo	16
Fig. 8 - Esempio di <i>Bubble Diagram</i> , identificazione delle funzioni e primi disegni concettuali (immagine tratta da <i>dynamobim.org</i>)	17
Fig. 9 - Esempio di risultati ottenibili tramite l'utilizzo della funzione di <i>Generative design</i> in Revit (BIM)	18
Fig. 10 - Esempio di analisi BPS: analisi sulla sostenibilità/illuminotecnica/circolo dell'aria/termica/acustica	18
Fig. 11 - Esempio dell'analisi della disposizione degli ambienti e generazione dei flussi di movimento al loro interno (Carbonara 1976)	19
Fig. 12 - Definizione di una massa e costruzione del modello definitivo.....	21
Fig. 13 - Risultato dell'associazione dei locali in Revit	22
Fig. 14 - Abaco dei locali associato alla Fig.13 generato automaticamente.....	23
Fig. 15 – Esempio di progettazione per diagrammi.....	24
Fig. 16 - Metodi di definizione delle geometrie: (1) Rappresentazione B-rep e (2) Rappresentazione CSG	25
Fig. 17 - Risultato della decomposizione dell'ambiente	26
Fig. 18 - Esempio di geometrie <i>non-manifold</i>	26
Fig. 19 - Operazioni booleane regolari e non regolari (Aish and Autodesk 2013).....	27
Fig. 20 - Definizione concettuale dei locali: Esempio 1 (Aish Robert et al. 2018)	28
Fig. 21 – Definizione concettuale dei locali: Esempio 2 (Aish Robert et al. 2018).....	28
Fig. 22 - Ambienti eterogenei appartenenti ad uno stesso nucleo esterno.....	29
Fig. 23 – Definizione matematica e rappresentazione grafica di un grafo generico	31
Fig. 24 – Esempio di grafo complesso	32
Fig. 25 – Molecole di metano, ammoniaca e acqua. Esempio di applicazione della GT.....	33
Fig. 26 – Esempio di grafo con attributi grafici	33
Fig. 27 – Rappresentazione grafica di un rapporto di dipendenza.....	34
Fig. 28 – Rappresentazione grafica di mappa concettuale ramificata	34
Fig. 29 – Esempio di grafico <i>generale</i>	35
Fig. 30 – Rappresentazione grafica dei collegamenti in una pianta architettonica.....	35
Fig. 31 – Esempio di grafico direzionale	36
Fig. 32 - Mappa geografica di Koningsberg (Eulero 1736)	37
Fig. 33 - Restituzione concettuale (GT) del problema (Eulero 1736).....	37

Fig. 34 – Studio dei percorsi e delle distanze in scenari di arredo differenti in un’abitazione privata (Bevilacqua 2011).....	38
Fig. 35 - Studio dei percorsi nella disposizione differente degli ambienti (Carbonara 1976).....	39
Fig. 36 - Inserimento degli ambienti nel nucleo globale (Carbonara 1976).....	40
Fig. 37 - Restituzione concettuale della pianta di una banca (Vaccaro 1933).....	41
Fig. 38 - Fasi del Generative Design (Arvin and House 2002).....	42
Fig. 39 - Esempio di riconoscimento dei percorsi in Google Maps.....	42
Fig. 40 - Schematizzazione in GT di una pianta tipo.....	44
Fig. 41 - Rappresentazione dei percorsi della pianta in Fig. 38.....	44
Fig. 42 – Interfaccia di lavoro (Strug and Ślusarczyk 2017).....	45
Fig. 43 - Risultati dell'algoritmo per il <i>shortest path</i> (Strug and Ślusarczyk 2017).....	46
Fig. 44 - Elaborazione dei risultati di <i>shortest path</i> nel sistema di evacuazione (Mirahadi and McCabe 2021).....	47
Fig. 45 – Esempio di script VPL.....	50
Fig. 46 - Interoperabilità tra Revit e Dynamo.....	51
Fig. 47 - <i>Point.ByCoordinates</i> , esempio di nodo in Dynamo.....	51
Fig. 48 - Esempio di liste in Dynamo.....	52
Fig. 49 - Esempio di script geometrico e restituzione grafica.....	53
Fig. 50 - Esempio di forma geometrica complessa.....	54
Fig. 51 - Esempio di script per l'elaborazione delle liste.....	55
Fig. 52 - Esempio di Code Block.....	56
Fig. 53 - Alcuni pacchetti scaricabili per Dynamo e le loro funzioni.....	56
Fig. 54 – Logo di Topologic.....	57
Fig. 55 - Struttura gerarchica delle topologie in Topologic (Jabi et al. 2018).....	59
Fig. 56 – <i>Topology.ByGeometry</i> e <i>Topology.Geometry</i> , nodi per la trasformazione delle geometrie <i>manifold</i> in <i>non-manifold</i> e viceversa.....	60
Fig. 57 - <i>Graph.ByTopology</i> , nodo per l'applicazione della GT in una topologia.....	61
Fig. 58 - Grafo <i>Direct</i>	61
Fig. 59 – Grafo <i>viaSharedTopologies</i>	62
Fig. 60 - <i>Topology.AddApertures</i> , nodo per la creazione di aperture nel <i>CellComplex</i>	62
Fig. 61 – Grafo <i>viaSharedApertures</i>	63
Fig. 62 - Simulazione della propagazione del fumo tra i locali (YourDesk University and Wassim Jabi 2021).....	64
Fig. 63 - Simulazione della propagazione di un incendio in un edificio (Jabi et al. 2019).....	65
Fig. 64 - <i>Spatial Reasoning</i> attraverso lo studio delle adiacenze (Jabi and Chatzivasileiadi 2021).....	65
Fig. 65 - Analisi sui percorsi in un edificio (Jabi and Chatzivasileiadi 2021).....	66
Fig. 66 - Interfaccia di Dynamo per un'analisi energetica (Cardiff University 2019c).....	66
Fig. 67 - Procedimento di mappatura, estrazione dei contorni geometrici dei locali (1-2).....	69
Fig. 68 - Procedimento di mappatura, creazione dei volumi relativi ai locali (3-4).....	71
Fig. 69 - Procedimento di mappatura, creazione del <i>CellComplex</i> (5-6).....	73
Fig. 70 - Procedimento di mappatura, estrazione delle aperture (7).....	75
Fig. 71 - Procedimento di mappatura, creazione del <i>CellComplex</i> con le aperture (8).....	77
Fig. 72 - Procedimento di mappatura, creazione del grafo (9).....	79
Fig. 73 - Esempio di due locali in uno stesso ambiente.....	80
Fig. 74 - Risoluzione in Dynamo del caso in Fig. 73.....	81

Fig. 75 - Esempio di pianta concava e percorso di collegamento tra i locali.....	81
Fig. 76 – Correzione del percorso di collegamento tra i locali.....	82
Fig. 77 - Esempio di collegamento tra vani ascensore	82
Fig. 78 - Esempio di collegamento tra scale	83
Fig. 79 - Ricerca dei percorsi nel caso di locali privati	84
Fig. 80 – <i>Graph.AllPaths</i> e <i>Graph.ShortestPath</i> , nodi per l’elaborazione dei percorsi	85
Fig. 81 - Esempio <i>Graph.ShortestPath</i> tra due locali.....	86
Fig. 82 - Esempio <i>Graph.ShortestPath</i> tra un locale e le uscite di emergenza	86
Fig. 83 – Piante architettoniche, individuazione dei locali del caso studio	88
Fig. 84 – Risultati della mappatura del caso studio e scomposizione in <i>CellComplex</i> e centroidi.....	89
Fig. 85 – Risultati della mappatura del caso studio ed estrazione dei percorsi.....	89
Fig. 86 - Modalità di selezione dei locali di input per il percorso	90
Fig. 87 – Utilizzo del nodo <i>ShortestPath</i> sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra due locali sullo stesso piano e successiva estrazione del risultato	91
Fig. 88 - Utilizzo del nodo <i>ShortestPath</i> sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra due locali su due livelli differenti e successiva estrazione dei locali attraversati dal collegamento e del percorso ...	91
Fig. 89 – Locali che interessano il percorso tra i locali definiti nella Fig. 88	91
Fig. 90 – Elaborazione Revit del percorso tra due locali realizzato nella Fig. 87.....	92
Fig. 91 – Utilizzo del nodo <i>ShortestPath</i> sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra un locale e le uscite di sicurezza e successiva estrazione del risultato.....	93

Background

Introduzione al BIM

Il Building Information Modeling (BIM) rappresenta una importante novità nel mondo AEC, di cui risulta difficile fornire una definizione unica e generale. A seconda dell'utente a cui viene richiesto di definire il concetto di BIM, infatti, si ottengono risposte molto differenti, ad indicare la necessità di una definizione universale (BS EN ISO 19650-4:2022 2022). Ciò è dovuto principalmente al fatto che il mondo del BIM è molto ampio e viene utilizzato da un gruppo di persone di diversa natura professionale, che all'interno del processo produttivo svolgono ruoli diversi (Tien Doan et al. 2019). La nascita del BIM si può far risalire alla fine degli anni Ottanta come risposta ad una necessità reale di avere una raccolta unica di ogni informazione inerente alla progettazione di un'opera, per tutta la durata della sua vita utile (Aryani, Brahim, and Fathi 2014).



Fig. 1 - Ciclo di vita di un'opera

Fino ad allora, infatti, il processo di progettazione e produzione veniva amministrato tramite un'ampia produzione manuale di materiale grafico e informativo in forma cartacea, spesso non preciso o non coerente con altri documenti redatti da figure professionali differenti, causando problemi nel momento della costruzione.

Inizialmente, il modello informativo nasce come risposta alla volontà di fornire uno strumento in grado di digitalizzare tutto il materiale esistente, ma non si assisterà alle prime applicazioni su edifici reali prima degli anni Duemila; solo da allora si può iniziare a parlare di BIM come lo si conosce adesso, anche se in forma ovviamente più semplice e con funzioni meno sviluppate.

I primi esempi, infatti, davano la possibilità di creare dei modelli geometrici tridimensionali, realizzati da appositi software, contenenti una raccolta di informazioni di diversa natura riguardanti tutta la vita utile dell'edificio, grazie alle quali si potevano realizzare simulazioni di diverso tipo.

Di fronte ad uno scetticismo generale caratterizzante il primo periodo di utilizzo, il BIM ha avuto modo nel corso degli anni di progredire in molti campi e ad oggi lo si conosce come uno strumento indispensabile e innovativo nel processo di redazione di un progetto. Alle prime funzioni di natura geometrica e modellativa, negli ultimi anni, si sono aggiunte quelle di *facility management*, ossia di controllo durante la fase operativa dell'opera, che prevede quindi la sua gestione e manutenzione.

L'importanza del suo utilizzo viene rimarcata anche a livello legislativo: in Italia è stato imposto l'obbligo di redazione del modello BIM per le opere pubbliche con un valore superiore al milione di euro entro il

2025, come a sottolineare la valenza e l'importanza dello strumento ("D.M. 2 Agosto 2021, n.312 'BIM'" 2021).

In base alle considerazioni effettuate, il BIM può essere quindi definito come uno strumento innovativo, un supporto reale per il mondo informatizzato dell'AEC, un metodo che permette a tutte le figure professionali che lavorano alla realizzazione della stessa opera di condividerne e ispezionarne le informazioni e di creare un modello unico che la identifichi in tutta la sua vita utile, dalla fase di progettazione alla sua dismissione.

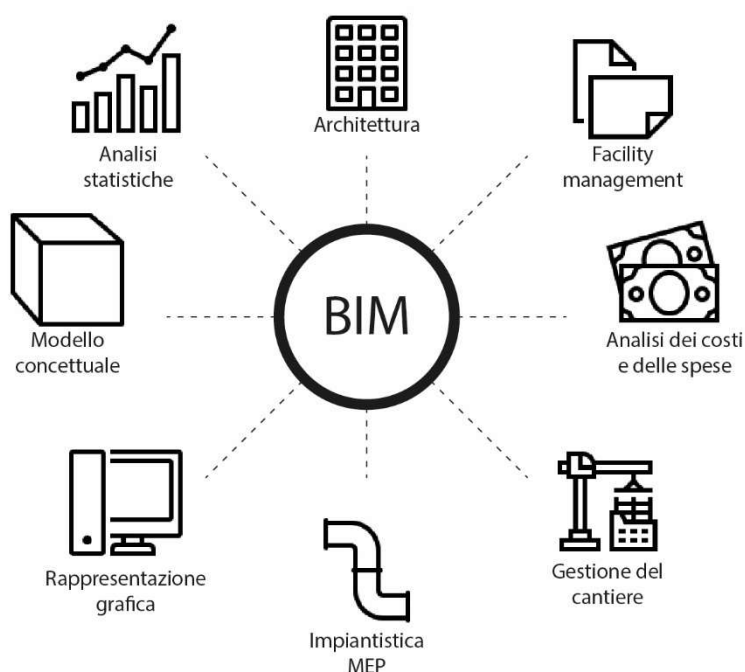


Fig. 2 - Funzioni che collaborano all'interno del processo BIM

Ad oggi, il BIM, permette quindi di ottenere un modello geometrico accurato in tutte le sue parti, una base solida per compiere delle stime di natura economica e quantitativa dei materiali, un potenziale modello concettuale per la migliore comprensione delle dinamiche dell'edificio e per compiere tutte le simulazioni necessarie.

Con la parola BIM non si parla di uno specifico software di modellazione, ma di un gruppo di programmi, che nel corso degli anni hanno ampliato le proprie funzioni e sono stati accompagnati da componenti aggiuntive per rendere il tipo di lavoro desiderato sempre più accurato e specifico. E' infatti importante ricordare che il gruppo denominato come AEC (Architecture Engineering Construction) è molto ampio e comprende diversi ambiti professionali.

Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo dei modelli BIM nel campo AEC

L'introduzione del BIM, per i motivi sopra citati, rimane indubbiamente ad oggi la svolta più importante nel campo AEC in questo millennio. Se si vogliono individuare i benefici principali che caratterizzano questo nuovo processo, questi si possono raggruppare in concetti ben definiti.

Il primo beneficio che ha portato l'introduzione del BIM è sicuramente una visione di insieme del processo di produzione di un'opera, non più frammentario nelle sue parti, ma come un unico sistema che riesce a performare bene solamente se tutte le parti che lo compongono lavorano nella maniera corretta. Non esistono più le dinamiche in cui le parti devono comunicare fisicamente per il raccoglimento delle informazioni necessarie o attese nella comunicazione di dati per proseguire il lavoro nella maniera corretta; il processo BIM prevede la realizzazione di un flusso di informazioni in condivisione tra tutti gli utenti interessati. Questo permette quindi di avere un'unica fonte da cui attingere le informazioni o gli elaborati, concetto che non risulta scontato a fronte della complessità dell'insieme. Si viene quindi a creare una piattaforma multidisciplinare, un punto di incontro tra tutte le figure professionali che svolgono un compito nella realizzazione dell'edificio, in cui ognuno è in grado di condividere o prelevare le informazioni di proprio interesse.

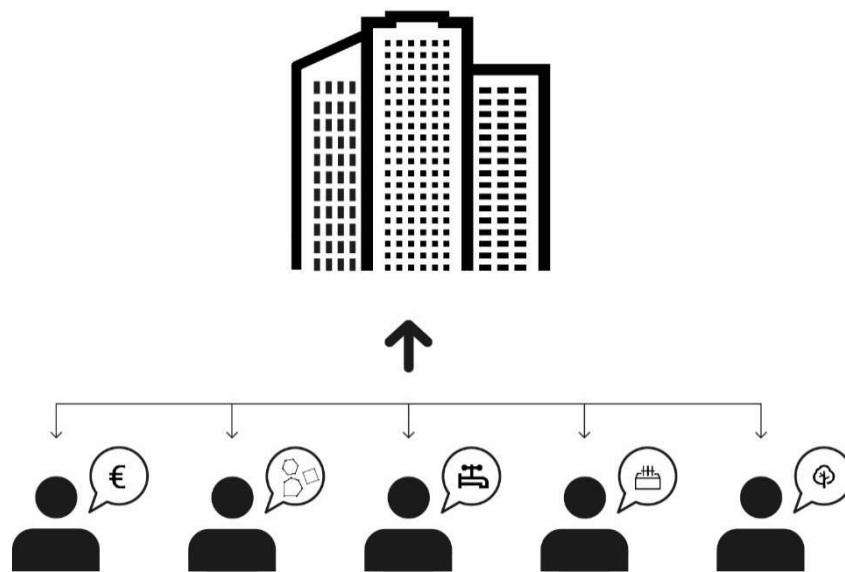


Fig. 3 - Multidisciplinarietà del BIM per la creazione di una stessa opera

Grazie al supporto informatico e delle funzioni specifiche presenti nei software BIM, si fornisce un supporto non solo grafico, ma anche di controllo e di prima verifica rispetto ai dati inseriti. Diventa quindi più facile individuare le incongruenze, che, se messe in luce in fase avanzata di costruzione, si trasformano in inefficienze di processo. L'obiettivo è quello di ridurre il più possibile gli errori, precedentemente causati da distrazioni da parte degli utenti o di incongruenze dovute a scarsa o cattiva comunicazione tra le parti.

In seguito viene riportata una tabella (**Fig. 4**), tratta da una conferenza del 2019, in cui vengono messi in luce gli effettivi benefici che fino ad oggi sono stati riconosciuti rispetto a prima dell'introduzione della metodologia BIM nel processo produttivo di un'opera (Ullah, Lill, and Witt 2019).

Phases	Benefits of BIM use
Pre-construction	<ul style="list-style-type: none"> Better concept and feasibility Effective site analysis to understand environmental and resource-related problems Improve effectiveness and accuracy of existing conditions' documentation Effective design reviews leading to sustainable design Enhancement of energy efficiency Resolve design clashes earlier through visualizing the model
Construction	<ul style="list-style-type: none"> Enables faster and more accurate cost estimation Evaluation of the construction of complex building systems to improve planning of resources and sequencing alternatives Effective management of the storage and procurement of project resources Efficient fabrication of various building components offsite using design model as the basis BIM allows better site utilization Reduce site congestion and improve health and safety
Post-construction	<ul style="list-style-type: none"> BIM record model can help in decision-making about operations, maintenance, repair and replacement of a facility Makes asset management faster, more accurate and with more information Ability to schedule maintenance and easy access to information during maintenance

Fig. 4 - Riassunto dei benefici del BIM nel processo produttivo di un'opera
(immagine tratta da *An overview of BIM in the construction industry: Benefits and barriers, 2019*)

Come si può vedere, i benefici si riscontrano in tutta la vita utile dell'opera e sono principalmente di carattere organizzativo, volti al controllo continuo dell'operato, al fine di non incorrere in problematiche dovute alla disattenzione degli utenti interessati nel processo produttivo.

Infine, si pone l'attenzione sull'accuratezza degli elaborati grafici che vengono prodotti grazie ai software BIM. Revit e ArchiCAD, ad esempio, a differenza di altri software di modellazione, danno infatti la possibilità di produrre modelli tridimensionali tramite l'utilizzo di oggetti semanticamente definiti, sia stratificati (come muri, pavimenti, soffitti, ecc.) sia puntuali (porte, finestre, arredo, canali d'aria, tubazioni ecc.). Questa modalità di elaborazione rappresenta un cambiamento molto importante che distacca in maniera netta questo tipo di modellazione rispetto alla sola conformazione geometrica che ha la funzione unica di generare forme; con una modellazione BIM oltre a creare una forma definita, tramite l'utilizzo di componenti denominati per il loro utilizzo, si raccolgono tutte le informazioni relative agli oggetti utilizzati. Si parla infatti di abachi, che riportano la quantità per ogni tipologia di componente utilizzato, i materiali utilizzati e le proprietà fisiche e chimiche che le caratterizzano, oltre a computi metrici e stime economiche sui locali che compongono l'edificio; questi sono solamente alcuni esempi delle informazioni che si possono ricavare da un modello BIM.

È chiaro quindi il beneficio di avere un'unica raccolta realizzata in maniera automatica di dati associati ai singoli elementi che vengono utilizzati, senza doverla compiere manualmente. Questo meccanismo diventa ancora più importante nel momento in cui in corso d'opera vengono realizzati dei cambiamenti all'interno del progetto: l'automatizzazione di questo processo permette il cambiamento in tempo reale di tutti gli abachi associati, senza che sia necessario ancora una volta il cambio manuale, con un'influenza importante nel risparmio delle tempistiche.

Si è accennato al modello tridimensionale, ma l'edificio rimane comunque ispezionabile anche bidimensionalmente, senza la necessità di ulteriore redazione di piante.

Nel corso degli anni, le funzioni che sono state sviluppate sono diventate sempre più complete e, ad oggi, all'interno di uno stesso modello BIM, coesistono molteplici modelli particolari che precedentemente dovevano essere realizzati separatamente, a causa di mancanza di supporto adeguato. Si parla infatti non solo di modello geometrico, ma anche di modelli per la pianificazione del progetto, con l'analisi delle ipotesi migliori in termini di distribuzione e costi, modelli per il computo metrico estimativo e modelli per il MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing). Questo incide nella complessità e nella completezza del modello unico.

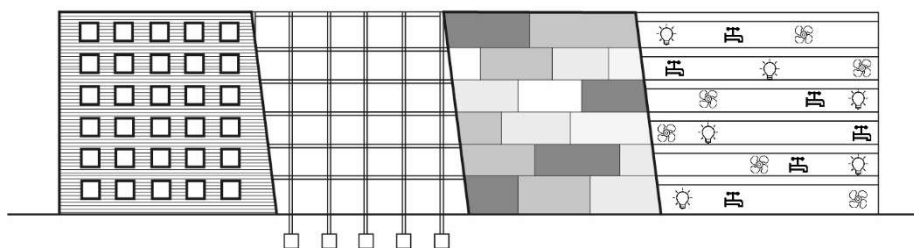


Fig. 5 - Raccolta di modelli con diversa funzione all'interno dello stesso (architettonico/strutturale/concettuale/MEP)

Uno dei motivi per cui si sceglie di realizzare un modello tanto completo è che questo ha valenza e importanza anche dopo la realizzazione effettiva dell'opera. Si parla infatti di *facility management* e di manutenzione dell'opera nel corso della sua vita e proprio il contenuto informativo permette di avere ancora una volta una fonte unica in cui cercare la soluzione a problemi di ristrutturazione e riparazione dove necessari. Risulta infatti facile risalire alla forma e alla composizione dei componenti costituenti e agire nel miglior modo possibile, che si tratti di componenti strutturali o di sistemi MEP.

A fronte di un grande lavoro di continuo aggiornamento, si possono comunque individuare degli aspetti ancora deboli o che richiedono ulteriori aggiornamenti per poter essere efficaci e di effettivo utilizzo.

Come già detto in precedenza, il BIM ha come prodotto finale un modello completo in tutte le sue parti, la cui complessità cresce all'aumentare della grandezza e della particolarità dell'opera. Questa difficoltà non sempre è facilmente gestibile e spesso ci si deve affidare a figure professionali che sono specializzate nel BIM e che utilizzano dei software aggiuntivi più specifici.

Ciò che ne risulta è una perdita del potenziale che si ricercava all'inizio, ossia la ricerca di informazioni all'interno di una rete completa che diventa troppo complessa per essere effettivamente ispezionata in maniera sicura e esaustiva.

I motivi di questo tipo di difficoltà sono principalmente di due tipi: un'effettiva difficoltà nella ricerca delle informazioni a causa della complessità della rete, accompagnata ad una conoscenza non sempre esaustiva dello strumento che si sta utilizzando. In troppi casi, infatti, i software di modellazione BIM vengono utilizzati in maniera parziale o per scopi che non rientrano nell'idea di creazione di un modello unico. Spesso l'utilizzo di Revit o ArchiCAD si limita alla funzione di creazione di un modello geometrico, lasciando a terzi l'incarico di compiere il restante lavoro senza la comunicazione dei dati in possesso. Il problema è dovuto principalmente al fatto che attualmente, malgrado la sua costante diffusione, questo strumento di lavoro non rappresenta ancora un punto focale negli studi tecnici, obiettivo per il quale si dovrà aspettare ancora un po' di anni.

Un ulteriore punto debole che viene riconosciuto al BIM è uno scarso supporto per quanto riguarda la creazione di modelli concettuali, quindi la creazione di forme geometriche per studiare in fase preliminare le dinamiche di funzionamento di un edificio oppure modelli che siano utilizzabili per compiere delle simulazioni (Aish Robert et al. 2018).

Il ruolo dei modelli concettuali nel processo di progettazione

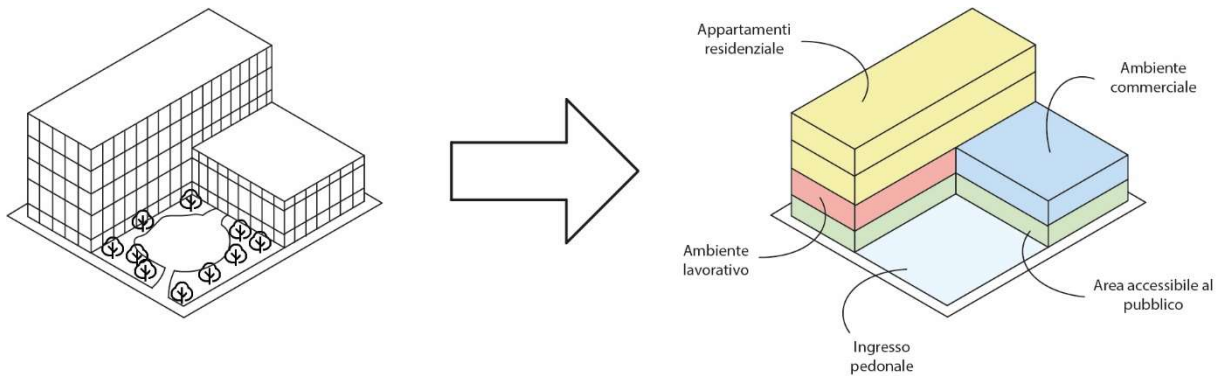


Fig. 6 – Rappresentazione concettuale di un edificio generico

Il BIM può essere definito come modello materiale, poiché ogni elemento che lo compone ha un'importanza e delle proprietà definite. Se parliamo invece di modello concettuale, o modello ideale, si fa riferimento ad una composizione geometrica definita solamente da elementi geometrici semplici, come linee, punti e superfici. Come suggerisce anche il nome, il modello concettuale ha la sola funzione di rappresentare dei concetti, per poi in un secondo momento poterli studiare (Vaccaro 1933).

Il processo di progettazione di un edificio, e quindi del BIM, ha come fase iniziale l'ideazione delle forme e degli ambienti, chiamata anche fase di *pre design*.

Questa fase ha una grande importanza soprattutto dal punto di vista architettonico. Al suo interno, prende il nome di analisi esigenziale prestazionale l'approccio metodologico al processo edilizio che sviluppa le soluzioni di progetto partendo dall'analisi delle classi di esigenza e delle relative esigenze, fino alla definizione dei requisiti e delle specificazioni di prestazione, allo scopo di valutare la qualità dell'intero intervento o di parte di esso, degli elementi tecnici e/o di quelli spaziali (Lauria 2012).

Nei primi momenti di design, quindi, il fulcro della progettazione è la costruzione di un'idea che comprenda le regole definite dal committente, senza trascurare le leggi sulle costruzioni, e la successiva produzione concettuale dell'opera (Donato 2017).

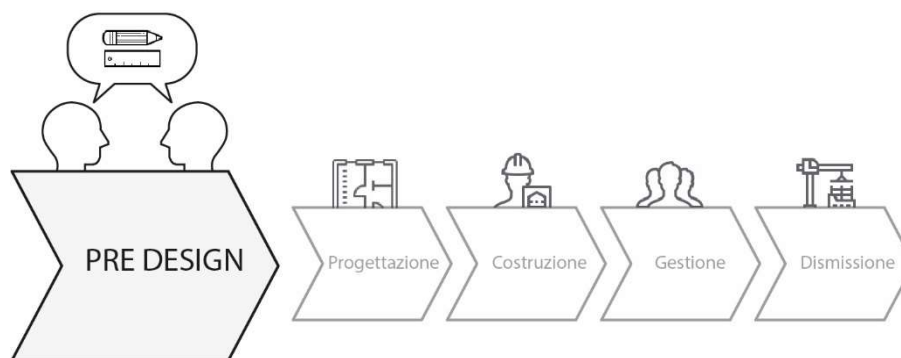


Fig. 7 - Fase di *pre design* all'inizio di tutto il processo produttivo

In questa fase, si inizia a pensare alla disposizione migliore degli ambienti, alla loro adiacenza e posizione e alle dinamiche di movimento che si instaurano al loro interno (Chuck Eastman 2009). Ci si trova quindi ad affrontare una fase in cui la produzione è principalmente teorica e poco pratica, materializzata tramite schizzi e forme primitive.

Storicamente, questi elaborati venivano prodotti a mano, ognuno con forme e regole personali, ma sempre con l'ausilio di forme geometriche semplici. Un esempio è il sistema *bubble diagram*, ossia una rappresentazione bidimensionale degli ambienti, definiti come *bubbles*, che rappresentano alcune proprietà molto intuitive. Si può da queste intuire la grandezza degli ambienti, la loro posizione nel piano XY e i rapporti tra questi.

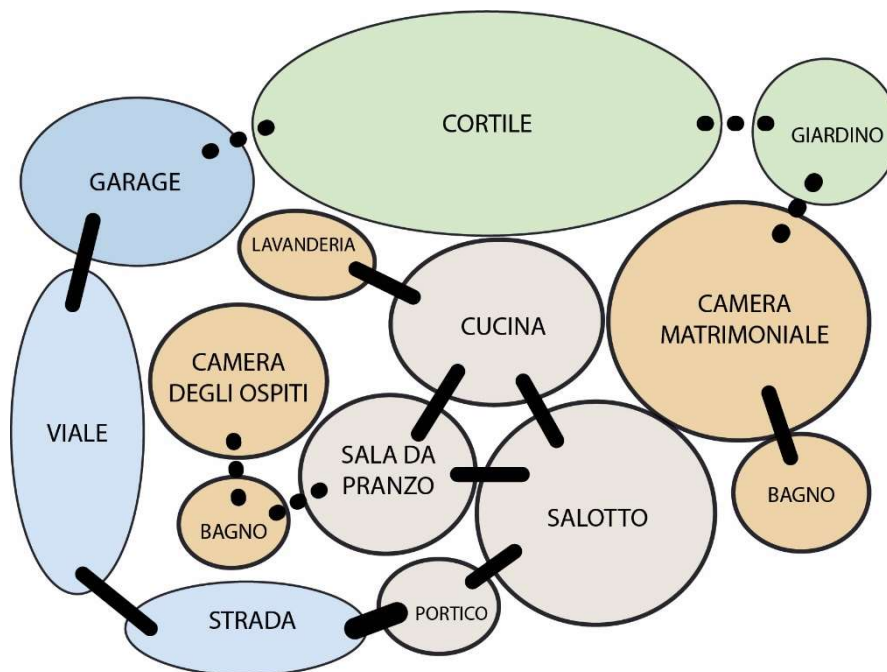


Fig. 8 - Esempio di *Bubble Diagram*, identificazione delle funzioni e primi disegni concettuali (immagine tratta da *dynamobim.org*)

Come si può vedere, si parla di rappresentazioni basilari e intuitive, una semplificazione di elementi che in seguito assumeranno forme più elaborate. In questo momento, questi schemi risultano molto efficaci, in quanto l'attenzione non è ancora nelle forme ma nella definizione delle dinamiche.

Le possibilità sono svariate e il *conceptual design* non è altro che la ricerca della migliore forma per definire gli ambienti desiderati con le limitazioni e regole accordate.

Il BIM, per la complessità con cui è concepito, spesso non risulta efficace da questo punto di vista. Diventa infatti molto difficile la creazione di modelli concettuali, in quanto ogni elemento che costituisce un modello BIM porta un bagaglio di informazioni molto ampio e risulta molto lontano dell'astrattezza delle forme che si ricerca in questa fase (Abrishami et al. 2014). Questo comporta una riduzione della fase di *pre design* e l'immediata creazione del modello completo di informazioni. L'ideale sarebbe ottenere una funzione efficace e universale che dia la possibilità di integrare anche questa prima fase al processo BIM, la creazione di modelli concettuali su cui in seguito poter costruire il modello definitivo, senza doversi appoggiare a programmi ritenuti più adatti a questa fase, come Rhinoceros o Sketchup.

Questo problema è in fase di studio da alcuni anni ed è argomento principale di ricerca in diverse università del mondo, prendendo il nome di *generative design*. Lo studio ha come obiettivo la creazione di uno strumento informatico associato al BIM che dia la possibilità agli utenti di creare tutte le possibili configurazioni nella disposizione degli ambienti di un edificio, esplicitando delle regole da rispettare, come adiacenza o grandezza degli ambienti. Questa ricerca non è altro che la creazione di uno strumento che faccia in maniera automatica un processo tipicamente manuale di avvicinamento alla soluzione progettuale (Ma et al. 2021; di Filippo et al. 2021).

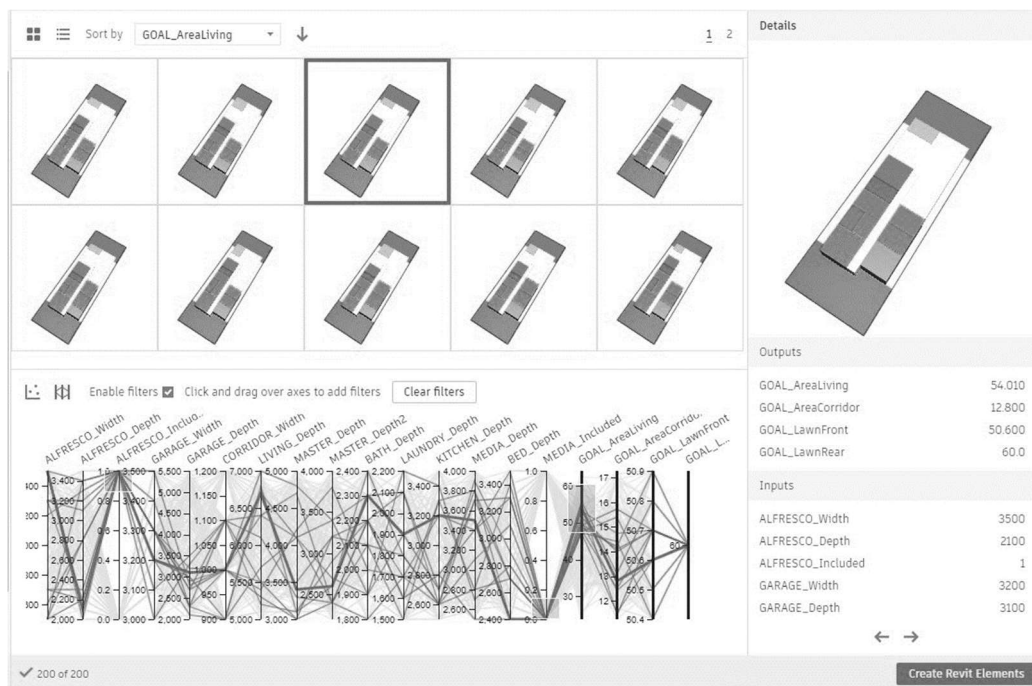


Fig. 9 - Esempio di risultati ottenibili tramite l'utilizzo della funzione di *Generative design* in Revit (BIM)

Attualmente, Revit mette a disposizione una funzione di questo tipo a partire dall'aggiornamento del 2021, ma, come spesso accade nell'ambito delle novità, questa non è ancora di grande utilizzo e necessita di ulteriori aggiornamenti prima di risultare fondamentale.

I modelli concettuali assumono un'importanza anche dopo la fase di *pre design*. Sta diventando sempre più importante e necessario attuare logiche che studino le performance degli edifici, grazie all'uso di simulazioni per la verifica delle performance di un edificio. Si parla di simulazioni illuminotecniche, termiche, acustiche o, più specificatamente, di impianti MEP.

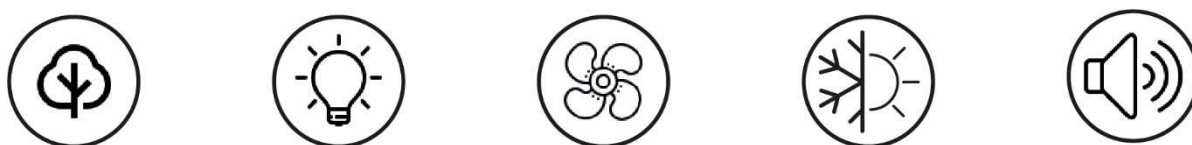


Fig. 10 - Esempio di analisi BPS: analisi sulla sostenibilità/illuminotecnica/circolo dell'aria/termica/acustica

Attualmente, si registra un grande utilizzo di software specifici di simulazione per effettuare le BPS; nel campo delle analisi termiche, per esempio, vengono utilizzati Ecotec e Design Builder (Jabi 2015). In questi programmi, il processo inizia con la creazione di modelli concettuali e semplici, caratterizzati dalle sole geometrie e informazioni necessarie per effettuare la funzione ricercata. Si stima infatti che nel tempo

totale per effettuare una simulazione, il 30% sia utilizzato per lo sviluppo del modello solido (Calquin, Wandersleben, and Castillo 2014).

Dall'ultimo dato risulta necessario chiedersi se il BIM possa essere in grado di mettere a disposizione dei professionisti un modello che sia utilizzabile all'interno dei loro software di simulazione o se possa fornire delle funzioni per effettuarle all'interno del programma, per ridurne di conseguenza il tempo di realizzazione.

All'interno del BIM, vi è la possibilità di esportare alcuni formati compatibili con i software di simulazione, come *GBXML* o *IFC*, ma attualmente è difficile che possano essere utilizzati per questo scopo. Il motivo è principalmente l'esistenza di un modello troppo complicato e quindi di elementi con una mole di informazioni esagerata rispetto a quelle effettivamente necessarie per la realizzazione della simulazione. Questo non rappresenta un problema effettivo, ma la maggior parte degli architetti non ritiene la funzione di facile utilizzo e di conseguenza continua ad affidarsi a professionisti.

Esistono altre simulazioni di diverso tipo, che permettono l'analisi dell'edificio dal punto di vista dell'accessibilità degli ambienti e lo studio dei percorsi ottimali.

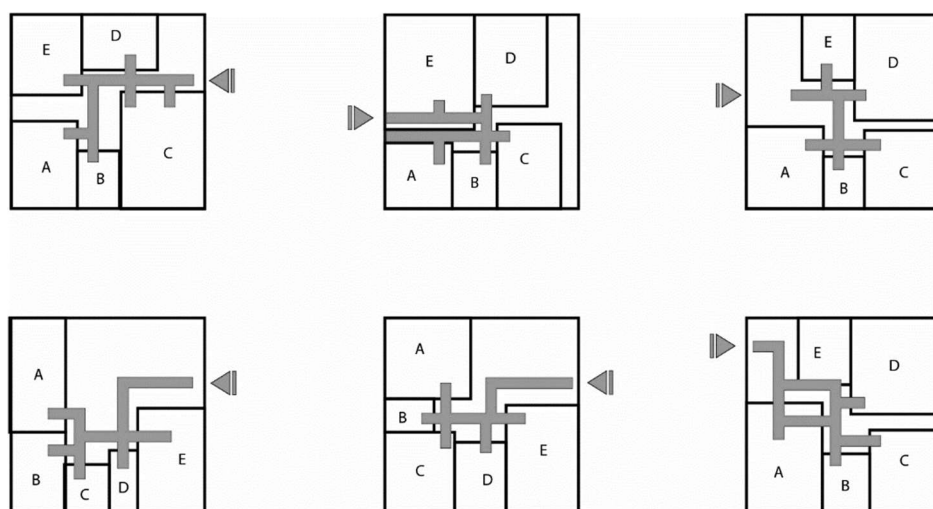


Fig. 11 - Esempio dell'analisi della disposizione degli ambienti e generazione dei flussi di movimento al loro interno (Carbonara 1976)

Queste assumono una grande importanza per capire quale sia la migliore disposizione degli ambienti e quali siano le dinamiche che nascono in fase di funzionamento e attività dell'edificio (Vaccaro 1933). Grazie ad ulteriori sforzi di programmazione, si possono imporre ulteriori regole ed effettuare simulazioni più complesse, come lo studio della sicurezza di un edificio o la ricerca dei percorsi di emergenza in base alla propagazione di un incendio.

Nasce quindi la necessità reale di una funzione specifica che sia in grado di effettuare queste simulazioni nell'interfaccia del software BIM o di un supporto che agisca al suo interno, semplificando le informazioni e filtrandole per poi creare un modello semplificato e concettuale idoneo alle simulazioni. A questa si aggiunge la ricerca di una rappresentazione efficace, che sia semplice ma adeguata per l'utilizzo.

L'importanza di avere un modello semplificato fin dalla prima parte della progettazione permette la realizzazione di queste simulazioni in una fase non troppo avanzata, dando quindi la possibilità di intervenire preventivamente rispetto a dinamiche non soddisfacenti o errate, incidendo in maniera decisiva rispetto a grandi perdite economiche e di tempo nella realizzazione dell'opera.

Elementi geometrici e BIM

Definizione delle geometrie in Autodesk Revit

Come detto in precedenza, il BIM¹ prevede la creazione di elementi che non hanno solamente proprietà geometriche rappresentative, ma che si identificano all'interno del modello e appartengono a specifiche famiglie di elementi. Una famiglia si identifica inizialmente dalla tipologia di elemento e in seguito i suoi componenti si differenziano per proprietà geometriche e dimensionali, per i materiali costituenti e per caratteristiche estetiche.

Questo sistema di classificazione esiste per tutte le tipologie di elementi che si possono creare all'interno dei modelli BIM e permette di avere un'organizzazione molto ben definita e di creare abachi precisi di diversa natura. Si può da questo, ad esempio, ricavare il numero di elementi dello stesso tipo all'interno dell'edificio e associarci un calcolo delle spese di realizzazione oppure una stima del materiale utilizzato. Più l'elemento è complesso e più il BIM diventa un supporto reale per l'ispezione dei componenti di un modello. L'organizzazione per famiglie diventa di grandissima utilità, poiché queste sono in continuo aggiornamento e ogni utente produttore di componenti può rendere disponibili i propri modelli aziendali da inserire direttamente nel modello.

Per rendere questa funzione meno limitata possibile nella scelta degli elementi utilizzabili, è sempre consentita la modifica di modelli già esistenti o la loro creazione. Viene messa a disposizione un'interfaccia di natura geometrica per creare forme puramente geometriche, a cui in seguito vengono associati attributi di appartenenza ad una specifica famiglia, che ne permettono il successivo utilizzo in ambiente BIM (Autodesk 2021).

Un'ulteriore funzione permette la creazione di elementi ancora più precisi, per forme particolari e realizzate in maniera specifica per un edificio. Tale funzione è detta *massa* e permette di realizzare dei modelli con funzione solamente geometrica e volumetrica (Autodesk 2020).

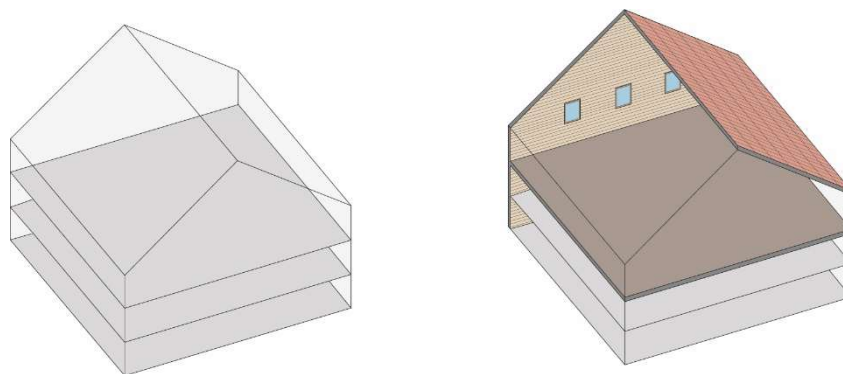


Fig. 12 - Definizione di una massa e costruzione del modello definitivo

¹ Nei paragrafi successivi, si fa riferimento al software BIM Revit, sviluppato da Autodesk e ampiamente diffuso e utilizzato dai professionisti del settore.

La creazione di una massa è possibile grazie a funzioni e operazioni geometriche simili a quelle che si trovano in un software di modellazione tridimensionale, come AutoCAD 3D o Rhinoceros. Questa è la funzione che si avvicina maggiormente ai modelli concettuali, in quanto permette di realizzare un volume da inserire all'interno dell'ambiente di progetto, senza che questo richieda un grado di precisione elevato per quanto riguarda i dettagli. In fase di progettazione, risulta quindi facile e veloce la modifica della massa per ispezionare le varie possibilità progettuali. In fase successiva, le masse vengono utilizzate come veri e propri modelli e gli elementi costituenti della forma finale vengono infatti realizzati prendendole come piani di riferimento.

Questa funzione ha quindi una grande importanza nelle fasi iniziali di progetto, per la definizione della geometria, ma diventa poi inutile per utilizzi successivi. Realizzato il modello definitivo, le masse perdono di importanza e vengono eliminate, perché non più utili al loro interno.

Come visto, quindi, un qualsiasi edificio prodotto attraverso Revit viene realizzato tramite elementi provenienti da famiglie; in linea di massima, un edificio si compone quindi di una successione di locali definiti geometricamente da quattro elementi muro, un pavimento e un soffitto. A questi elementi imprescindibili per la definizione geometrica di un ambiente, si possono aggiungere elementi secondari, come porte, finestre, sistemi MEP e altro. Revit mette a disposizione una funzione, che prende il nome di *locali*, che permette di aumentare il grado di precisione del modello dal punto di vista informativo.

Questa funzione permette infatti di assegnare ad ogni locale che viene creato degli attributi di vario tipo. Questi possono essere generati automaticamente dal software, come area o volume del locale, oppure vengono compilati direttamente dall'utente per definirne il nome o la destinazione dello spazio. La creazione del locale si basa sulla definizione di ambienti delimitati da elementi muro oppure da vincoli disegnati dall'utente prima dell'assegnazione della stanza. Questo permette quindi l'aggiornamento automatico degli attributi calcolabili del locale in caso di spostamento degli elementi che ne definiscono il perimetro.



Fig. 13 - Risultato dell'associazione dei locali in Revit

Da un punto di vista puramente grafico e di visualizzazione degli ambienti, l'inserimento dei locali permette la produzione di tavole di pianta meglio organizzate e comprensibili. Risulta infatti semplice la gestione dei colori dei locali dal punto di vista del retino di riempimento, dando quindi la possibilità di presentare tutti gli ambienti che condividono una proprietà comune con uno stesso colore identificativo e di generare automaticamente una legenda accurata.

Per quanto riguarda invece l'aspetto informativo del modello BIM, la funzione dei locali permette la creazione di un abaco degli ambienti di un edificio. Questo si configura come tabella riassuntiva in cui vengono indicati tutti gli attributi che interessano i vari locali. E' permessa anche la sua personalizzazione per quanto riguarda i dati che vogliono essere visualizzati, al fine di ottenere tabelle più specifiche.

<Abaco dei locali>					
A	B	C	D	E	F
N°	Destinazione d'uso	Superficie	Volume Netto	Reparto	Perimetro
0	Cucina	16.5 m ²	40.3 m ³	ZG	17.30
1	Camera	18.2 m ²	44.5 m ³	ZN	17.20
2	Bagno	5.2 m ²	12.7 m ³	ZN	9.40
3	Cabina armadio	5.5 m ²	13.4 m ³	ZN	9.60
4	Bagno	3.2 m ²	7.9 m ³	ZG	7.20
5	Lavanderia	3.4 m ²	8.3 m ³	ZG	7.40
6	Bagno	5.3 m ²	13.0 m ³	ZN	9.40
7	Disimpegno	3.6 m ²	8.8 m ³	ZN	7.60
8	Camera	18.2 m ²	44.5 m ³	ZN	17.20
9	Soggiorno	34.5 m ²	84.1 m ³	ZG	23.50
10	Terrazzo	15.6 m ²	38.1 m ³	E	16.10

Fig. 14 - Abaco dei locali associato alla Fig.13 generato automaticamente

I benefici di questa funzione sono sicuramente la facilità di ispezione del modello, per verificarne le dimensioni e per avere una base su cui poter compiere successive analisi (come analisi di tipo economico), ma anche per avere uno strumento che in tempo reale aggiorni delle tabelle che sarebbero altrimenti redatte manualmente, con un alto rischio di compiere errori e un grande dispendio nelle tempistiche. In aggiunta, gli abachi sono esportabili in molteplici formati, di cui il più comune è sicuramente il formato Excel.

Come visto nei paragrafi precedenti, Revit, preso come esempio per i software BIM, ha un'organizzazione che può essere definita molto precisa e di facile comprensione per gli utenti che lo utilizzano. Per una semplice realizzazione, Revit mette a disposizione molteplici elementi all'interno delle famiglie, mentre per ottenere risultati più precisi e accurati ne permette la creazione personale o l'importazione dall'esterno. Inoltre, fornisce un supporto efficace per quanto riguarda la realizzazione di forme primitive, tramite la creazione di masse e l'attribuzione di proprietà fondamentali per il riconoscimento degli ambienti, in modo da non identificarli più come generici spazi, ma come luogo dedicato ad uno specifico compito.

Si vuole quindi analizzare la motivazione per cui questo tipo di funzione non può essere ritenuta sufficiente per compensare le carenze riconosciute nella fase di *pre design* e per la creazione di modelli utilizzabili per simulazioni sull'edificio.

Le masse permettono la realizzazione di un possibile modello concettuale che viene però definito solamente da caratteristiche volumetriche, con le sole proprietà geometriche. La creazione di questo tipo di forme ha come unico fine quello di visualizzare l'ingombro di un edificio, per un controllo visivo del modello. Il modello concettuale però, come visto anche nel capitolo precedente, ha la funzione di presentare anche le dinamiche che si vengono a creare all'interno degli spazi creati e ha bisogno di attributi aggiuntivi che ne definiscano quindi proprietà, come accessibilità e percorsi. Non è possibile aggiungere nelle masse quelli che vengono chiamati elementi secondari o non strutturali, come le aperture, pur sapendo che la loro posizione nei locali è di grande importanza in quanto ne definiscono l'ingresso,

oppure non risulta possibile ispezionare direttamente una stanza per estrapolarne informazioni riguardanti l'adiacenza con gli altri ambienti.

La funzione dei locali, invece, permette la facile visualizzazione e il riconoscimento degli ambienti, ma solamente in formato bidimensionale. Non esiste quindi la possibilità di ottenere una rappresentazione grafica, con colori e retini, in un formato tridimensionale, che renda una visione di insieme.

Il problema risiede nell'avere a disposizione due supporti molto potenti, le masse per la raffigurazione geometrica e i locali per la definizione delle proprietà degli ambienti, che non possono collaborare tra loro. In un'ottica di collaborazione, si potrebbero ottenere dei modelli concettuali in cui ad ogni massa che viene creata possano essere associate delle proprietà ispezionabili, che diano la possibilità di realizzare analisi per le dinamiche di funzionamento dell'edificio e di prendere quindi le migliori decisioni per il risultato ricercato.

Concetti geometrici per la per la creazione di modelli concettuali

Il modello concettuale viene quindi richiesto con delle precise particolarità. E' stata precedentemente illustrata la volontà di ottenere uno strumento che dia la possibilità di avere un supporto importante in fase di ideazione del progetto, nella disposizione degli ambienti e nella simulazione delle dinamiche che ogni possibilità crea al loro interno.

Per creare questo tipo di supporto si utilizzano le forme geometriche di base, pur cercando di ricreare un modello che sia più vicino possibile alla configurazione reale dell'edificio. Un esempio di questo genere di produzione concettuale si può trovare nel lavoro dello studio Bjarke Ingels Group (BIG), in cui la conformazione finale dell'opera deriva da una successione di operazioni effettuate su volumi elementari.

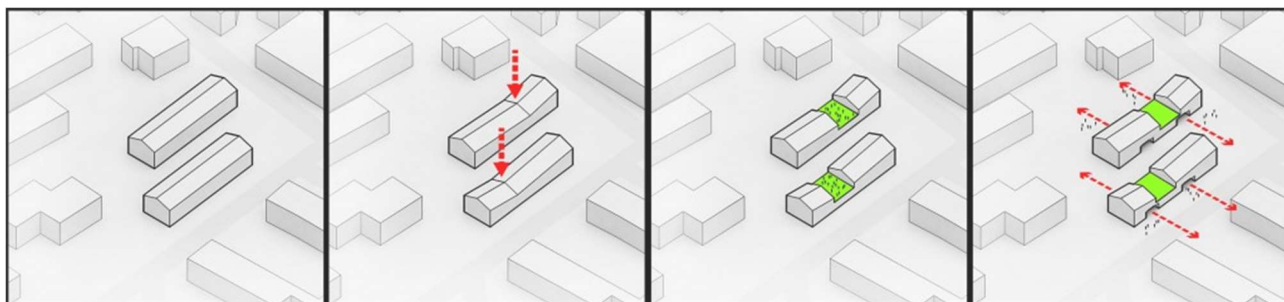


Fig. 15 – Esempio di progettazione per diagrammi
(immagine tratta da *BIG Studio*)

L'utilizzo di queste forme permette di trasformare un edificio, dotato di diversi ambienti e locali, in un complesso di volumi. Ad ogni volume realizzato si possono associare degli attributi, esprimibili grazie all'utilizzo di particolari accorgimenti geometrici (Vaccaro 1933). La forma dà la possibilità di riconoscere la grandezza di un locale, quindi l'area calpestabile e il volume totale della stanza, mentre con il colore può essere associata, come nel caso dei locali in Revit, una destinazione d'uso. Grazie a questi accorgimenti si raggiunge l'obiettivo principale dei modelli concettuali, ossia la ricerca di una facilità di comprensione e semplificazione di un modello BIM che risulta essere molto più complicato.

Definizione delle geometrie

In ogni caso, per la generazione delle forme si fa riferimento ai concetti di geometria semplice e per tutte le figure realizzabili, anche molto complicate, è possibile trovarne una definizione geometrica.

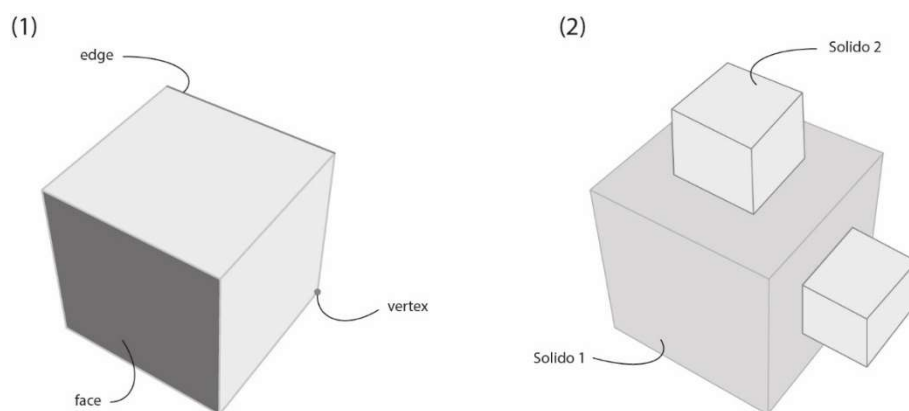


Fig. 16 - Metodi di definizione delle geometrie: (1) Rappresentazione B-rep e (2) Rappresentazione CSG

Esistono infatti due metodologie per descrivere una forma geometrica (Cavalcanti et al. 1997).

Il primo metodo viene chiamato *B-rep* (*Boundary representation*) e considera la geometria come una figura dotata di un perimetro esterno. Nella definizione di perimetro esterno si fa riferimento a tutti gli elementi geometrici base che si conoscono. Si possono infatti identificare i vertici della figura (*vertex*), i segmenti che ne creano gli spigoli (*edges*) e le superfici che definiscono le facce (*faces*). Ogni elemento geometrico è sempre descrivibile utilizzando questi componenti semplici oppure può essere visto come la loro unione nello spazio. Il concetto che sta alla base di questa definizione è la ricerca di una relazione di adiacenza tra questi elementi all'interno della stessa figura.

Il secondo metodo prende il nome di *CSG* (*Constructive Solid Geometry*) e permette di riconoscere qualsiasi geometria come risultato di un'operazione booleana tra altre più semplici. Queste sono principalmente operazioni di unione, intersezione e sottrazione.

La particolarità di questi tipi di definizione delle geometrie è l'esistenza di una condizione di biunivocità tra le due. Definita una figura tramite il suo esterno (*B-rep*), è spesso possibile trovare delle figure semplici che, messe in relazione booleana tra loro, possono definirla (*CSG*) e viceversa. Il risultato è quindi una doppia definizione per ogni figura geometrica.

La geometria che viene definita in questo modo permette di identificare una decomposizione dell'ambiente in tre componenti. Grazie alla definizione di un perimetro si può parlare infatti di interno (*interior*), esterno (*exterior*) e contorno (*boundary*). Questi tre concetti, nel caso semplice di studio di una geometria, non assumono una grande importanza, in quanto il contorno è solamente un parametro che descrive un elemento in uno spazio tridimensionale.

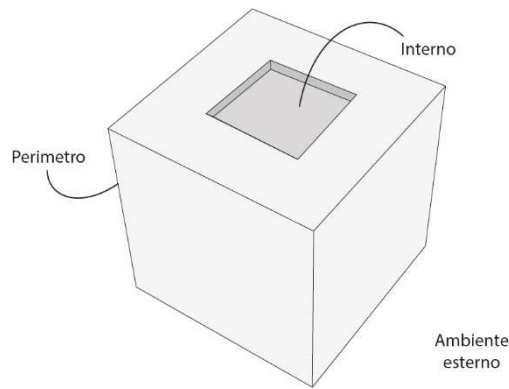


Fig. 17 - Risultato della decomposizione dell'ambiente

Gli elementi geometrici semplici di questo tipo prendono il nome di geometrie *manifold* e rappresentano dei solidi reali, in cui ogni spigolo è condiviso da solamente due facce (Shimada 1989). Lo spazio che viene definito all'interno della figura può essere vuoto oppure pieno, definibile quindi come un blocco di uno stesso materiale.

Geometrie *non-manifold*

Alle geometrie *manifold* vengono contrapposte le geometrie *non-manifold*.

Queste sono definite da un perimetro esterno e sono composte da facce esterne, che dividono l'ambiente interno da quello esterno, e da facce interne, che dividono un unico spazio interno in celle indipendenti.

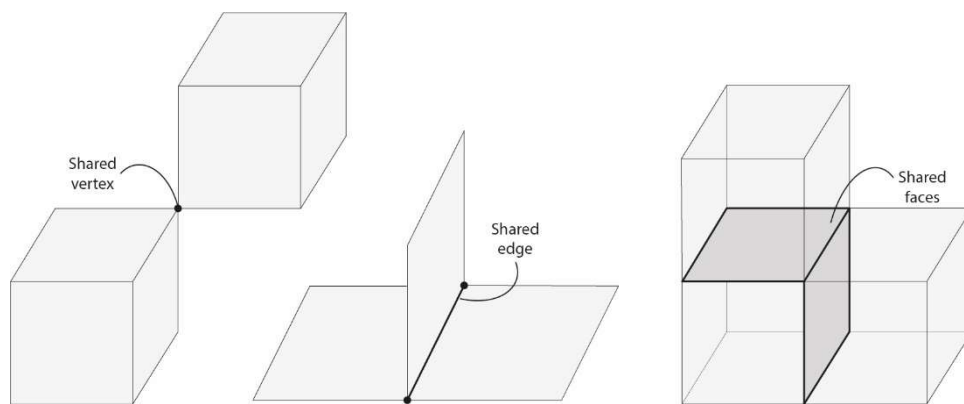


Fig. 18 - Esempio di geometrie *non-manifold*

La definizione presuppone quindi, ad esempio, l'esistenza di uno spigolo che non ha più come condizione l'appartenenza a sole due facce, come nel caso precedente, ma che è in condivisione anche con degli elementi interni (Aish and Autodesk 2013; Jabi 2015).

Come per le precedenti geometrie, è possibile avere una duplice definizione tramite i metodi *B-rep* e *CSG*. Si pone l'attenzione sulla seconda, con la quale si vogliono trovare delle figure primitive a cui vengono applicate delle operazioni booleane. Con l'introduzione delle geometrie *non-manifold* bisogna fare una distinzione tra le operazioni booleane regolari e non-regolari: le prime vengono definite come quelle in cui il risultato finale prevede la rimozione delle porzioni di facce che cadono al suo interno, mentre le seconde le includono dando la possibilità di creare delle celle interne.

Viene quindi riportata una tabella che mostra come le stesse operazioni booleane diano risultati diversi nei due casi (di Mari and Yoo 2012). Non tutte le operazioni sono applicabili ad entrambe.

	Unione	Intersezione	Differenza	Sovrapposizione	Divisione
Inputs					
Operazioni regolari					
Operazioni non-regolari					

Fig. 19 - Operazioni booleane regolari e non regolari (Aish and Autodesk 2013)

Queste tipologie di operazioni possono essere effettuate anche tra due figure primitive *non-manifold*, che presentano quindi al loro interno già delle partizioni.

L'introduzione delle geometrie *non-manifold* permette di esprimere dei concetti rappresentativi che attraverso le sole *manifold* risulterebbero inesistenti ed errati dal punto di vista formale e della loro definizione.

Importanza delle geometrie *non-manifold* nei modelli BIM per la creazione dei modelli concettuali

Nel momento in cui si esce dal campo puramente geometrico, le definizioni geometriche che sono state presentate nei paragrafi precedenti assumono dei significati differenti (Cavalcanti et al. 1997).

Applicandole infatti nel campo dell'architettura o, più in generale, nel settore AEC, il contorno di una figura geometrica diventa un limite concreto tra un ambiente esterno, che lo ospita, e un ambiente interno. Rispetto a prima, gli elementi geometrici che vengono rappresentati assumono un valore descrittivo, con delle proprietà che variano e che hanno un'influenza sugli ambienti che vengono definiti. La linea che prima definiva il contorno di un elemento geometrico diventa ora un muro e, al variare della sua tipologia e stratigrafia, l'ambiente al suo interno assume delle proprietà differenti.

Ma il concetto può essere maggiormente generalizzato ed ampliato. Se infatti ad una figura geometrica non viene più associata la destinazione di semplice ambiente, ma quella di nucleo abitativo, in cui il contorno non definisce più un ambiente unico ma l'involucro esterno in cui sono racchiusi ambienti eterogenei, deve essere trovato un modo per definire geometricamente i volumi al suo interno che hanno proprietà e destinazioni differenti. Questo, utilizzando le geometrie *manifold* presentate precedentemente,

non risulta possibile, perché non verrebbe più rispettata la proprietà fondamentale di unicità nel contenuto. Diventano invece molto efficaci in questo caso le geometrie *non-manifold*. Vengono in seguito riportati due esempi che ne dimostrano l'effettivo utilizzo (Aish Robert et al. 2018).

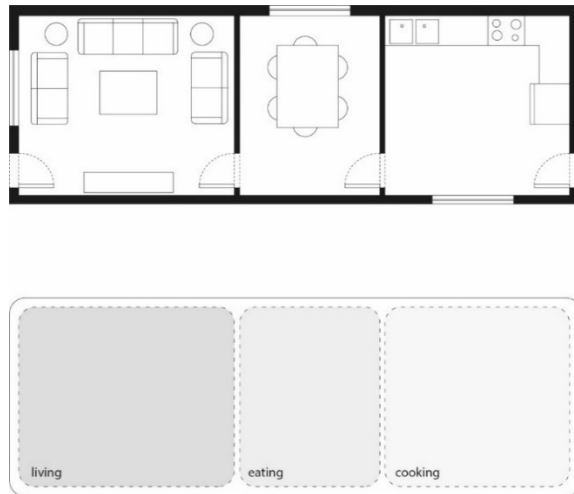


Fig. 20 - Definizione concettuale dei locali: Esempio 1 (Aish Robert et al. 2018)

Si ipotizza di avere uno spazio abitativo definito dai muri perimetrali e due muri interni che delimitano degli spazi interni definiti. In termini di conversione concettuale, il procedimento risulta semplice, in quanto i tre ambienti che vengono definiti sono ben delimitati e circoscritti architettonicamente, dando quindi la possibilità di riconoscerne la destinazione assegnata. Questo può essere quindi convertito in un modello concettuale definito dalla successione di tre volumi indipendenti *manifold*.

Nel caso in cui si cambi la disposizione, optando per un *open space* in cui i tre ambienti siano all'interno dello stesso definito solamente dai muri perimetrali, la trasformazione concettuale precedente non sarebbe più possibile. Questo perché all'interno di uno stesso contorno coesistono funzioni differenti non limitate architettonicamente ed eventualmente anche aventi spazi in condivisione.

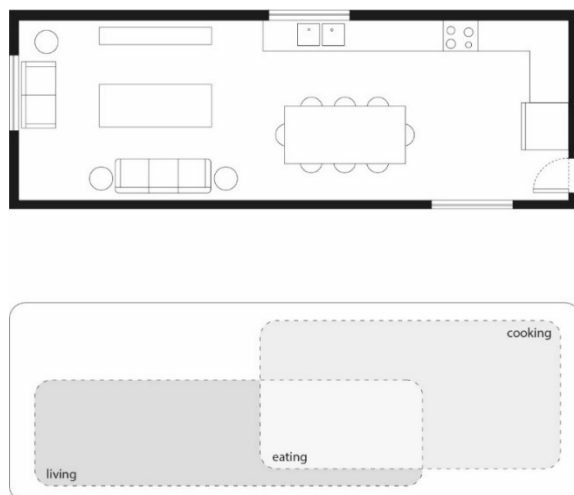


Fig. 21 – Definizione concettuale dei locali: Esempio 2 (Aish Robert et al. 2018)

La soluzione concettuale risulta facilmente risolvibile tramite le geometrie *non-manifold*, perché, attraverso l'utilizzo di operazioni booleane non regolari, si possono creare partizioni interne al volume definito dal perimetro esterno e gli spazi in condivisione possono essere definiti attraverso la funzione d'intersezione.

Un secondo esempio viene realizzato su un caso più generale e complesso. Non ci si riferisce più ad un locale unico, ma ad un nucleo abitativo composto da ambienti con funzioni diverse, come ad esempio un complesso di appartamenti o un ospedale.

In questo caso, risulta difficile la creazione di un modello concettuale definito come l'unione di volumi che in maniera indipendente definiscono un locale. Risulta più semplice la definizione di un nucleo esterno, definito dai muri perimetrali, su cui compiere in un secondo momento delle partizioni interne. Procedendo in questo modo, l'edificio viene scomposto in celle interne (*cells*), a cui sono associabili attributi differenti che hanno successione e adiacenza definite e che nella complessità appartengono ad un volume unico (*cellcomplex*).

Risulta quindi chiara l'efficacia di uno strumento che dia la possibilità di creare delle geometrie *non-manifold* nel campo dell'architettura. Al momento però Revit, come anche gli altri software di modellazione BIM, non è in grado di compiere questa operazione.

L'inclusione di uno strumento che lavori attraverso queste geometrie risulterebbe forse risolutiva rispetto alle carenze nel campo della modellazione concettuale.

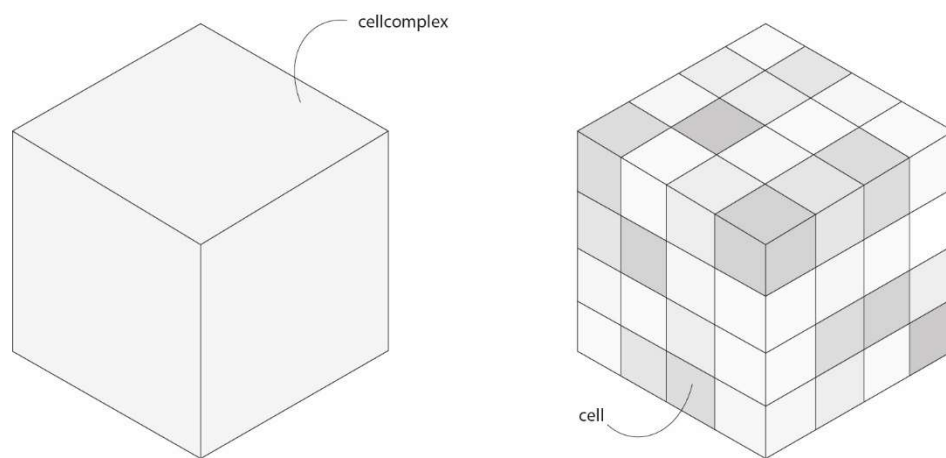


Fig. 22 - Ambienti eterogenei appartenenti ad uno stesso nucleo esterno

Graph Theory

Definizioni matematiche e concetti fondamentali

La teoria dei grafi, o *graph theory*, è una branca della geometria che nasce a metà Novecento e che, come suggerisce il nome, ha come elemento fondamentale del suo studio i grafi. Questi trovano nella disciplina una precisa definizione analitica, ma hanno la massima funzionalità nella rappresentazione e schematizzazione grafica di concetti reali. La teoria dei grafi nasce infatti come uno strumento matematico che permette la visualizzazione chiara di concetti in relazione e la loro analisi quantitativa. Ne risulta quindi una materia molto intuitiva e di facile comprensione, ma di ampio utilizzo in campi anche differenti.

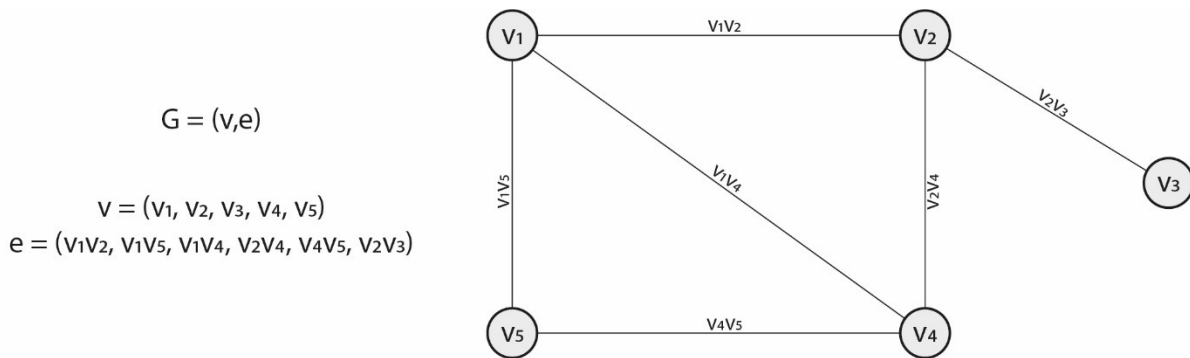


Fig. 23 – Definizione matematica e rappresentazione grafica di un grafo generico

Un grafo è, quindi, una struttura matematica discreta che si compone di elementi semplici, chiamati *nodes* (o *vertices*), collegati linearmente tra loro tramite archi, chiamati *edges*. Usando una definizione più formale, ogni grafo viene identificato da una coppia ordinata $G=(v,e)$ di insiemi, con v insieme di *vertices* e e insieme di *edges*, tali che gli elementi di e siano coppie di elementi di v . Ne consegue, quindi, che ogni nodo può essere denominato tramite una lettera, mentre ogni arco tramite una lettera e una coppia di punti che ne definiscono le estremità. Ad ogni grafo è associabile una forma matriciale, quindi una definizione matematica (Founds 1980).

Il *node* rappresenta il soggetto elementare del grafico e, in base al campo di applicazione, gli viene associata una nomenclatura e degli attributi che lo caratterizzano. L'*edge*, invece, rappresenta l'esistenza di una relazione tra i due nodi che vengono collegati. In base al numero di nodi e di collegamenti e ad alcune proprietà che verranno presentate successivamente, ci si trova ad operare con grafi di diversa complessità ed organizzazione (Founds 1980).

La teoria dei grafi, come detto in precedenza, diventa di grande utilizzo in campi differenti, poichè agli elementi nodali viene assegnato un attributo nominale che ne definisce l'identità specifica.

Nel corso degli anni, ad esempio, è stato largamente utilizzato nel campo della chimica per la rappresentazione grafica della composizione delle molecole oppure è facilmente riconoscibile nel sistema organizzativo dei siti web, costruiti come la successione a cascata di link collegati tra loro.

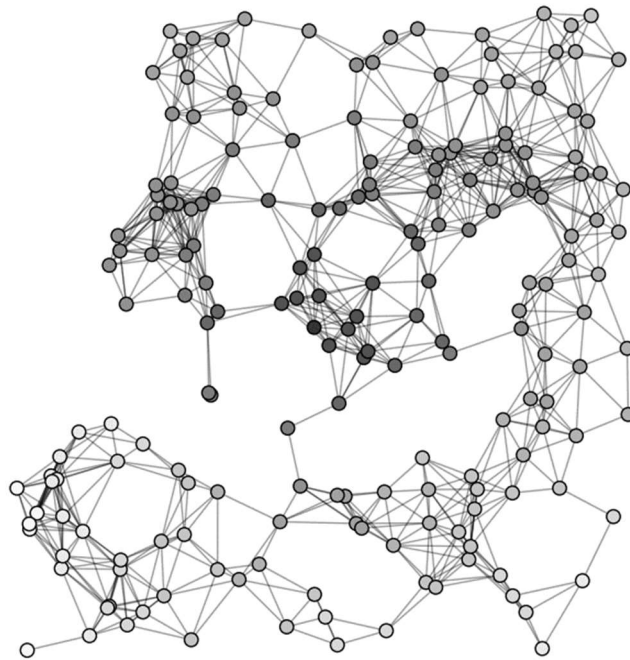


Fig. 24 – Esempio di grafo complesso

Attualmente, trova grande sviluppo nelle materie informatiche, con la creazione di software che permettono la rappresentazione di dati di input attraverso mappe concettuali.

Proprietà esprimibili tramite la rappresentazione

Nel paragrafo precedente, è stata data un'introduzione generale e una definizione matematica della teoria dei grafi. Come detto, un grafico è definito analiticamente come $G=(v,e)$, ma, attraverso alcune proprietà, dalle più banali a quelle meno intuitive, si possono definire scenari differenti. Vengono quindi definiti in seguito alcuni concetti e proprietà che caratterizzano i grafi e i loro attributi fondamentali.

Nodo e attributi identificativi

I nodi sono gli elementi fondamentali per l'esistenza del grafo, in quanto rappresentano i concetti tra cui esiste una relazione. In base al campo di applicazione del grafo, ci sono differenti metodi per assegnare loro un attributo identificativo.

Il metodo più semplice sarebbe sicuramente l'utilizzo di parole o breve frasi che riassumano l'intero concetto, ma più il grafico riesce ad essere schematizzato più diventa intuitivo alla sola vista. Esistono quindi vie differenti per avere maggiore astrattezza rappresentativa.

Nel caso in cui, ad esempio, il campo di applicazione abbia una nomenclatura universale, si può utilizzare in forma completa o una sua abbreviazione riconosciuta, posizionata all'interno dei nodi o in loro sostituzione. Un esempio applicativo di questo metodo è la rappresentazione grafica delle molecole in chimica, in cui si fa utilizzo di illustrazioni semplificate che prevedono il collegamento di lettere, che rimandano alla tavola periodica degli elementi, per indicare gli atomi che le costituiscono (Isaac, Sadeghpour, and Navon 2013; Founds 1980).

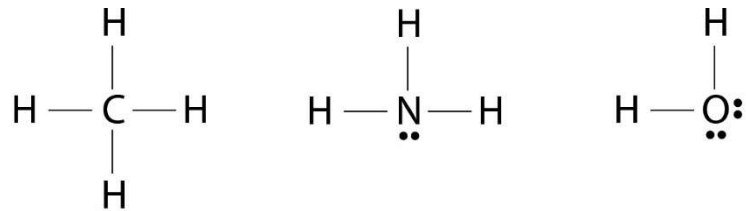


Fig. 25 – Molecole di metano, ammoniaca e acqua. Esempio di applicazione della GT

Un altro metodo rappresentativo, che prevede un maggiore livello di astrattezza, può essere dato dall'utilizzo di una scala di colori ai nodi, a cui viene assegnata una legenda. In questo modo, può essere assegnato uno stesso colore ad elementi diversi ma che hanno un attributo in comune. Ciò trova applicazione ad esempio nella rappresentazione di una pianta architettonica in cui ogni colore può identificare una diversa destinazione d'uso dei locali.

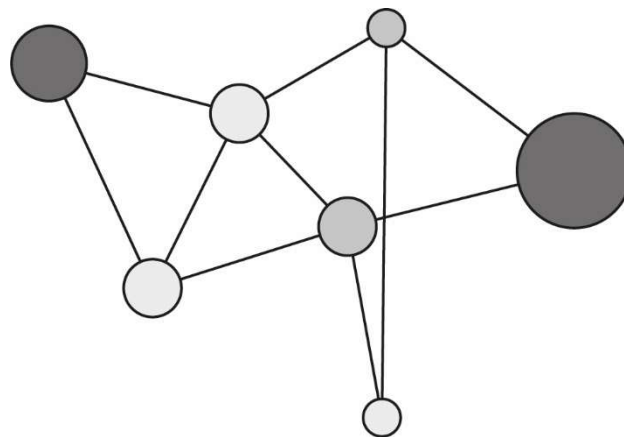


Fig. 26 – Esempio di grafo con attributi grafici

Le caratteristiche di un nodo possono anche identificare attributi di diverso tipo oltre alla sola denominazione; vi è infatti la possibilità di usare colorazione, denominazione e altri espedienti grafici per rendere l'illustrazione sempre più ricca di informazioni. Un esempio largamente utilizzato perché molto intuitivo, per esempio, è l'assegnazione di una dimensione ai nodi ad indicare diversi gradi di importanza oppure l'utilizzo di forme differenti per identificare concetti di natura differente.

Collegamento e grafici specifici

Come visto precedentemente, l'elemento grafico che rappresenta una relazione tra i nodi è l'*edge*. Graficamente, questo si configura come una linea che ha il punto di inizio e di fine in due nodi specifici.

In base al tipo di grafico che si sta realizzando, l'esistenza dei collegamenti assume significati differenti.

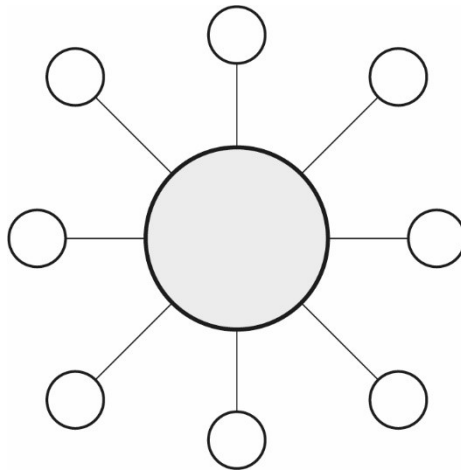


Fig. 27 – Rappresentazione grafica di un rapporto di dipendenza

Il collegamento può, ad esempio, rappresentare un rapporto di dipendenza tra differenti nodi rispetto ad uno più importante. In questo caso il grafico risulta molto chiaro perché il concetto fondamentale viene rappresentato tramite un nodo di dimensioni maggiori a cui sono collegati tutti gli altri nodi secondari dipendenti. Un'applicazione di questo stile grafico può essere la schematizzazione di un'organizzazione lavorativa che dipende da un'unica persona.

Attraverso i grafi è possibile rappresentare anche la mappa concettuale di un procedimento logico.

I nodi rappresentano i concetti fondamentali di un flusso di idee che, attraverso i collegamenti, vengono uniti ad indicarne una scelta possibile tra alcune alternative.

In questi casi ci si interfaccia con grafici anche molto complessi e ampi, caratterizzati da una struttura ramificata, data dalle molte possibilità presenti nell'avanzamento del procedimento.

A differenza dello schema precedente, questo può illustrare dinamiche molto sviluppate; un esempio di schema ramificato può essere la rappresentazione grafica della struttura organizzativa di uno sito web, in cui dalla pagina principale si possono raggiungere pagine secondarie in base alle scelte personali, che a loro volta possono rimandare ad altre pagine.

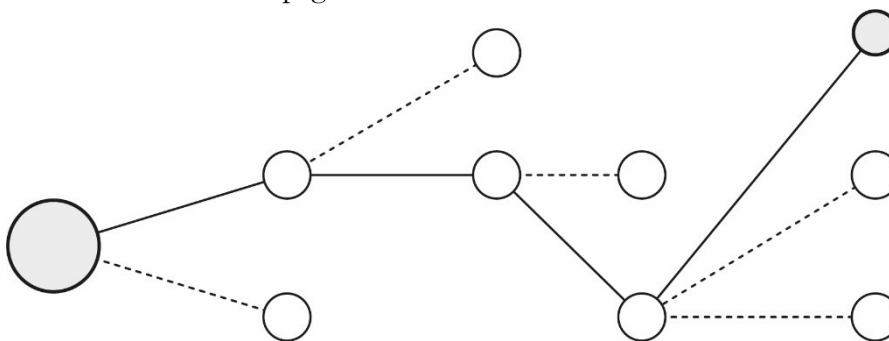


Fig. 28 – Rappresentazione grafica di mappa concettuale ramificata

Attraverso i grafi, infine, è possibile realizzare un'illustrazione spaziale o di natura geometrica.

Il collegamento rappresenta, in questo caso, l'esistenza di un rapporto di adiacenza o collegamento diretto. Un esempio di questa rappresentazione può essere trovato nello studio dei flussi di movimento in un edificio, in cui quindi il collegamento tra due nodi definisce la comunicazione fisica tra due locali.

Fino ad ora sono stati visti grafici che vengono riconosciuti come *semplici*. Vengono chiamati grafici *generali* quelli che presentano una caratteristica specifica di collegamento di un nodo a se stesso, con la realizzazione di un percorso chiuso nel punto di partenza oppure l'esistenza di più collegamenti che mettono in relazione gli stessi nodi (Isaac, Sadehpour, and Navon 2013).

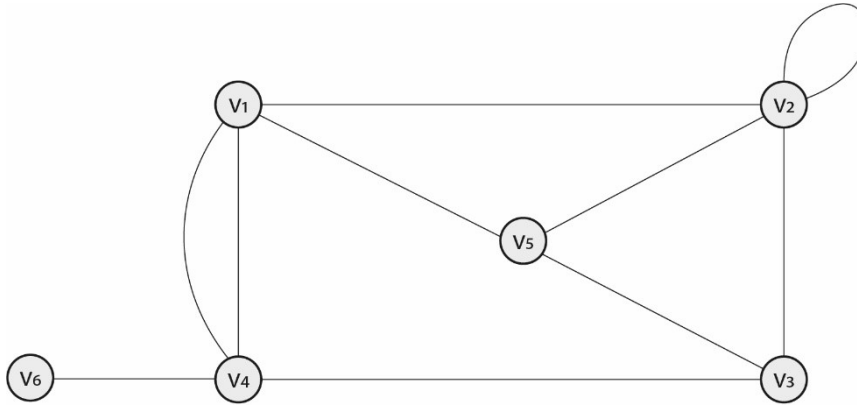


Fig. 29 – Esempio di grafico *generale*

Oltre a questi esempi, si possono trovare ulteriori stili grafici per casi più specifici, al fine di garantire la migliore e più chiara rappresentazione possibile.

Proprietà dei collegamenti

Agli *edges*, come per i nodi, possono essere attribuiti stili grafici di diverso tipo per rappresentarne al meglio alcune caratteristiche.

Come in precedenza, il metodo più semplice e intuitivo è l'utilizzo dei colori a cui possono essere assegnati, tramite l'utilizzo di una legenda, degli attributi.

Per rendere ancora più chiara la lettura del grafico, oltre ai colori si possono attribuire degli stili di linea, come differenti spessori o linee tratteggiate. Il loro utilizzo permette di garantire una maggiore facilità di lettura, in quanto il grafico risulta uniforme nella colorazione. Gli stili di linea risultano efficaci in grafici che, ad esempio, rappresentano differenti metodi di fruizione degli ambienti in un edificio.

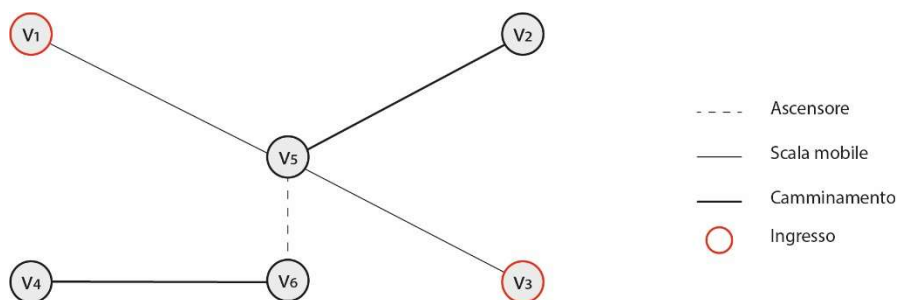


Fig. 30 – Rappresentazione grafica dei collegamenti in una pianta architettonica

Una forma ancora più elementare sarebbe la scrittura diretta dell'attributo di fianco alla linea di collegamento, soluzione che si cerca di evitare per avere grafici più astratti possibili.

Un'ulteriore caratteristica dei collegamenti è la loro direzionalità (Founds 1980). In alcuni casi risulta necessario specificare il verso del grafo. La restituzione grafica di questa caratteristica è immediata; viene

infatti sostituito il collegamento con una freccia. Questo attributo è di largo utilizzo soprattutto nei grafici che rappresentano uno schema di movimento, quindi nei campi architettonici ed urbani. In quest'ultimo caso, all'interno della schematizzazione, talvolta risulta necessario ricercare una resa grafica di dinamiche come sensi unici di marcia oppure a doppia percorrenza.

Solitamente in molti grafici non compare la direzionalità e ciò è dovuto principalmente al fatto che non vi è bisogno di indicarla oppure che è sottinteso un rapporto di biunivocità tra due nodi.

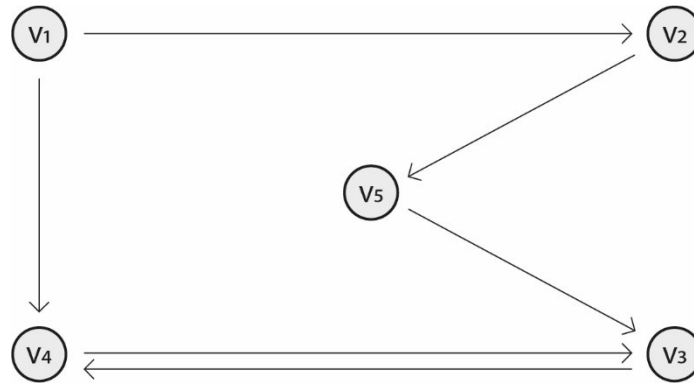


Fig. 31 – Esempio di grafico direzionale

Anche in questo caso, sono stati presentati alcuni esempi per la risoluzione grafica di attributi, ma in ogni differente grafico ci sono degli strumenti che risultano più efficaci di altri.

Esempi storici del GT nel campo dell'architettura

I grafi trovano grande utilizzo anche nel campo della progettazione architettonica, in quanto permettono la schematizzazione di concetti di natura organizzativa degli ambienti in un progetto.

La nascita della disciplina viene fatta risalire proprio ad un problema di natura urbanistica studiato da Eulero nel 1736 (Eulero 1736). Al tempo non era ancora conosciuta come teoria dei grafi, ma lo studioso l'aveva già identificata come una branca della geometria, chiamata *geometria delle posizioni*.

Il quesito prende il nome di *Problema dei sette ponti di Königsberg* e consiste nella ricerca di un metodo per visitare tutta la cittadina, composta da diverse zone divise dal corso di due fiumi, attraversando una sola volta i sette ponti che le collegano. Inizialmente, Eulero si pone come obiettivo quello di capire se sia possibile stabilire preventivamente l'esistenza di un metodo universale e non particolare per il caso studio, con un approccio logico e matematico, e successivamente propone delle regole per tracciare il percorso (Isaac, Sadeghpour, and Navon 2013; Founds 1980).

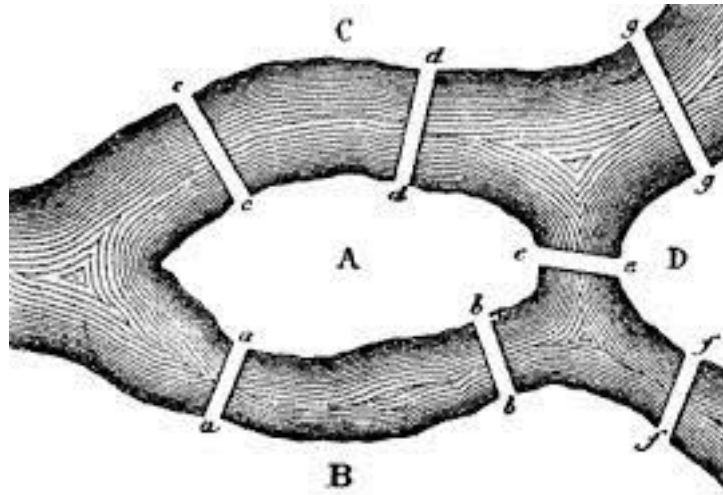


Fig. 32 - Mappa geografica di Königsberg (Eulero 1736)

La trattazione effettuata da Eulero è di carattere matematico e logico, ma un supporto grafico risulta essere efficace per la migliore comprensione delle dinamiche.

Viene quindi proposto un metodo universale che ha come punti di partenza la comprensione del problema e delle condizioni iniziali che lo descrivono, le quali diventano dei veri e propri vincoli.

Le aree della città diventano i nodi di un grafo, rappresentati tramite l'utilizzo di lettere maiuscole, i ponti invece determinano il percorso di collegamento possibile, indicati tramite l'utilizzo di lettere minuscole. In questo caso è stato deciso l'utilizzo del solo sistema alfabetico, con una differenza di stile per indicare elementi diversi. Questo permette la scrittura della soluzione finale in maniera chiara, non solo in forma grafica ma anche letterale (ad esempio, se il percorso considerato ha come punto di partenza il nodo A e di arrivo il nodo D, utilizzando il ponte *e* come passaggio, si scriverà *AeD*).

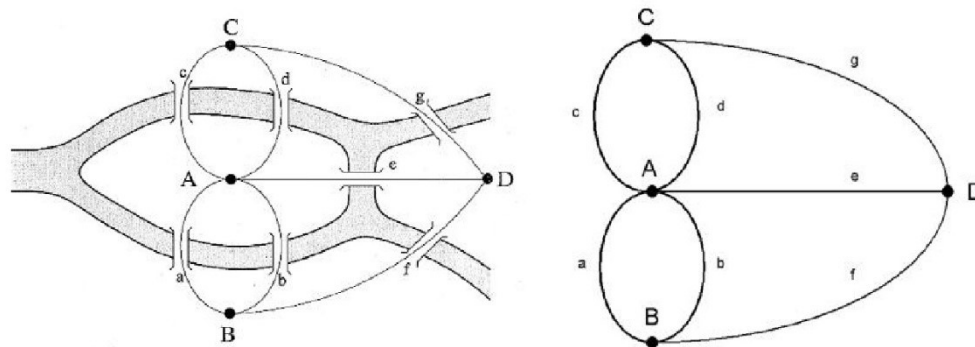


Fig. 33 - Restituzione concettuale (GT) del problema (Eulero 1736)

Il grafo mostra alcune proprietà che caratterizzano il problema.

I collegamenti tra due nodi distinti sono vincolati dal passaggio reale, reso possibile dall'esistenza di un ponte, perciò le linee di collegamento non sono lineari ma curve, a seguire la loro disposizione, descrivendo quindi, a grafico compiuto, un percorso chiuso che permette di visitare tutte le aree esistenti. Tra due nodi, inoltre, è possibile notare l'esistenza di un'unica curva di collegamento, ad indicare la possibilità di utilizzo del ponte una sola volta all'interno del percorso da compiere.

Queste proprietà consistono nella rappresentazione grafica dei vincoli che sono alla base del problema proposto.

Il grafo può essere reso ancora più completo indicando anche un verso di percorrenza che definisce l'andamento dell'itinerario, ma il problema in questione non lo richiedeva.

Nel Novecento, si possono riscontrare altri esempi dell'utilizzo di questo metodo rappresentativo anche nell'architettura.

A inizio secolo, in Germania si sta vivendo un periodo di grande crescita demografica, che non può essere affrontato adeguatamente a causa di una grave crisi economica. Diventa difficile infatti l'espansione delle zone residenziali già esistenti e solamente nel 1924 si inizia a promuovere l'idea della costruzione di massa di case popolari. La proposta viene accolta dalle grandi città tedesche e, con lo scopo di rendere la soluzione ancora più efficace, vengono decisi degli standard abitativi minimi per permettere la creazione di più abitazioni possibili in uno stesso complesso residenziale, garantendo comunque la vivibilità degli ambienti in termini di spazio e di sanità degli occupanti.

Il tema viene affrontato in maniera approfondita dall'architetto Alexander Klein, che, nel 1928 al *International Congress for Housing and Planning* di Parigi, presenta un metodo per la valutazione della qualità del design di un'abitazione, per definirne la migliore disposizione degli ambienti (Bevilacqua 2011). Il metodo si compone di tre fasi: la prima prevede il raccoglimento di *regole* e delle preferenze degli utenti da tenere in considerazione nel risultato finale, effettuando una successiva scrematura sulla base delle leggi statali e degli standard economici prefissati, diminuendo così il numero di casistiche da considerare. La seconda fase prevede la creazione concettuale delle possibili disposizioni degli ambienti, con la ricerca dell'ottimale dettato dai requisiti dimensionali e di sanità degli ambienti. Infine, nella terza fase inizia la rappresentazione grafica più specifica degli elementi strutturali e degli arredi, in modo tale da avere una base su cui è possibile fare dei ragionamenti in merito ai collegamenti tra gli ambienti, ai percorsi minimi e agli spazi non occupati dall'arredo. A questi si aggiungono simulazioni successive con lo studio delle ombre e l'ingresso della luce.



Fig. 34 – Studio dei percorsi e delle distanze in scenari di arredo differenti in un'abitazione privata (Bevilacqua 2011)

Questi tipi di analisi sono volti proprio alla ricreazione delle dinamiche che nascono all'interno degli ambienti abitativi, dando la possibilità ai progettisti di valutare le varie ipotesi e di scegliere la migliore possibile. Queste vengono rappresentate graficamente tramite l'utilizzo di elementi geometrici elementari, che possono essere ricondotti ai canoni dei grafi precedentemente presentati.

Purtroppo, questo percorso teorico tracciato dall'architetto non ha avuto grande riscontro all'epoca, ma risulterà un predecessore di dinamiche che sono tutt'ora attuali e utilizzate nel *generative design*.

Negli USA, nel 1936 viene pubblicato nella rivista *The Architectural Forum* uno studio di Bernard J. Harrison, ripreso anche in elaborati postumi come esempio di riferimento (Carbonara 1976), che aveva come principale obiettivo quello di suggerire ai progettisti un metodo per agevolargli il lavoro di ottimizzazione degli spazi. Anche in questo caso, si cercano delle regole per sviluppare il *generative design*. La ricerca si compone di molte tavole architettoniche (Fig. 35 e Fig. 36) in cui vengono presentati dei diagrammi che, come riportato anche dagli autori, devono avere solamente una funzione astratta e concettuale perché non fanno riferimento a dati misurabili certi.

Il metodo ha una struttura ben definita e generale applicabile ad ogni caso studio, composta di fasi in successione.

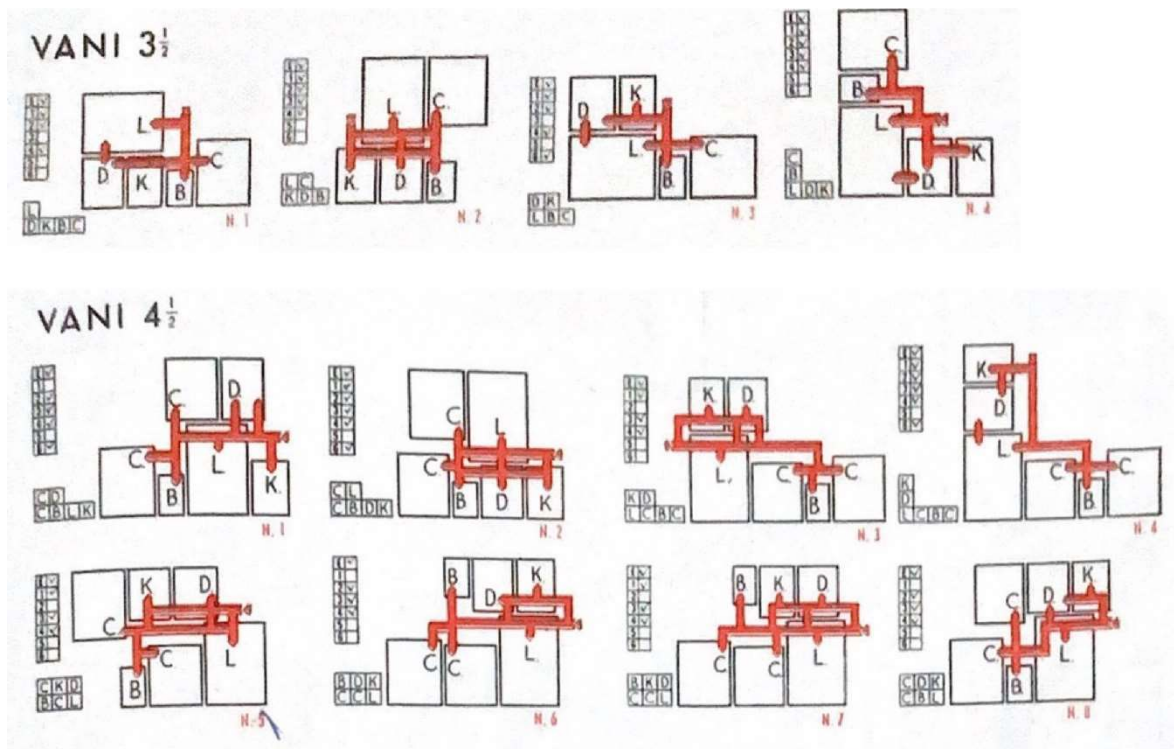


Fig. 35 - Studio dei percorsi nella disposizione differente degli ambienti (Carbonara 1976)

Inizialmente, viene suggerite la determinazione della forma e le dimensioni degli ambienti e le relazioni tra loro, per poi iniziare una classificazione che raggruppa le varie possibilità in base al numero di vani. All'interno della classificazione, ad ogni disposizione rappresentata viene associata una scala di valori per giudicarne il grado di conformità rispetto ai requisiti voluti, che si dividono in *requisiti essenziali* e *requisiti desiderabili*. Sulla base del punteggio associato viene redatta una classifica di merito, da cui vengono scartati i casi in cui manca anche solo un requisito necessario. In questa prima fase viene fatto largo utilizzo di forme geometriche elementari, a cui viene associata una lettera per definirne la destinazione d'uso. Come si può notare nella Fig. 33, nella valutazione delle disposizioni assumono grande importanza le dinamiche di spostamento all'interno degli ambienti e anche tra loro, riportate graficamente grazie all'utilizzo di linee e colori forti.

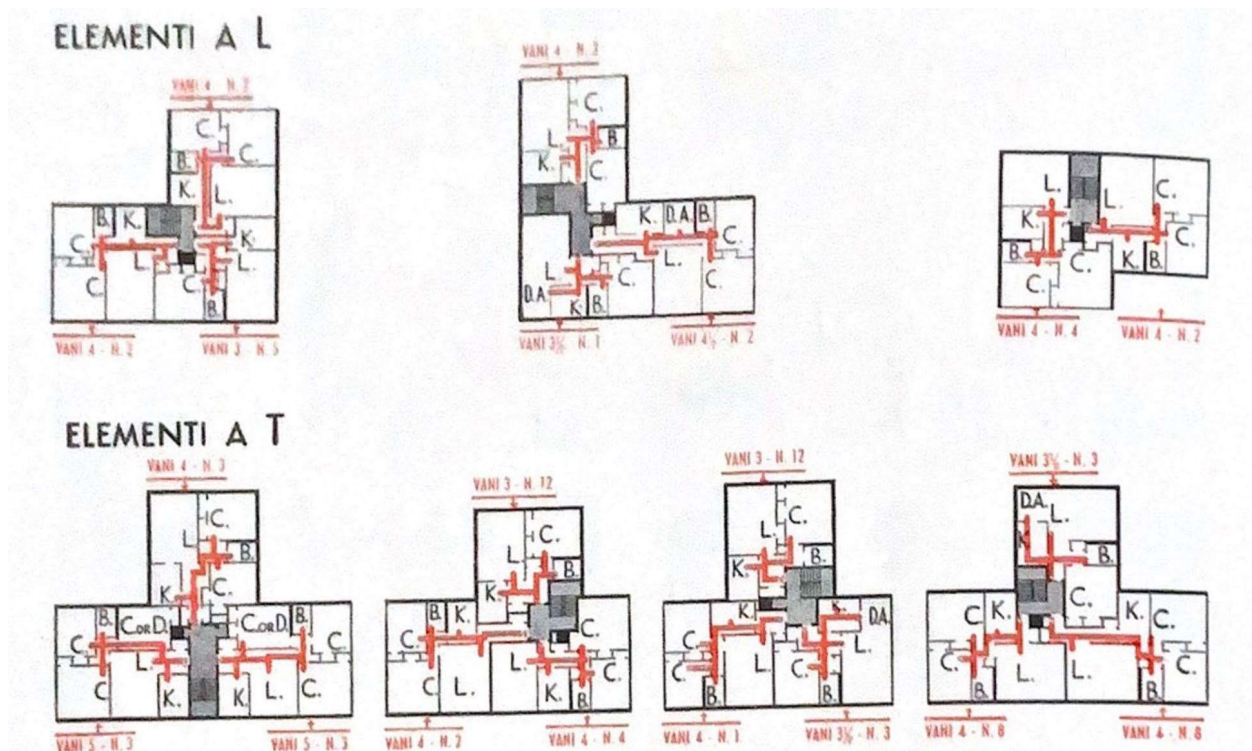


Fig. 36 - Inserimento degli ambienti nel nucleo globale (Carbonara 1976)

Definite le disposizioni che meglio rispettano i requisiti, queste vengono assemblate all'interno della linea di definizione dell'involucro abitativo, apportando le necessarie modifiche ai vani affinché venga rispettato un requisito più generale, cioè quello perimetrale. Anche in questo caso vengono presentate delle casistiche differenti, principalmente riguardanti la forma della pianta, per cui viene fatta una classifica di merito che porta alla scelta finale. Nella rappresentazione d'insieme è facile notare l'importanza che lo studio assegna alle dinamiche di movimento, come ad indicare che la progettazione non è solamente la disposizione di elementi in una pianta, ma lo studio delle dinamiche che descrivono l'utilizzo degli spazi. Al termine di questo lavoro viene comunque indicata la necessità di integrare all'interno dei requisiti necessari dell'intero complesso residenziale una voce relativa al costo di realizzazione, il quale in alcuni casi diventa un elemento di grande impatto nella realizzazione della graduatoria.

Nel 1933, in Italia viene pubblicato da Giuseppe Vaccaro *Schemi distributivi di architettura*, un'opera che ha come argomento principale l'analisi teorica dell'efficacia dei diagrammi in fase di *pre design* e la successiva proposta di un metodo per la loro realizzazione, accompagnata da alcune applicazioni pratiche (Vaccaro 1933).

Il metodo che viene proposto si basa sulle rappresentazioni grafiche utilizzate per gli schemi dei circuiti elettrici che venivano realizzate dagli ingegneri del tempo. Viene scelto questo modello perché lo stile è molto astratto ma chiaro e si compone di alcuni concetti universali che rappresentano in maniera esaustiva le dinamiche presenti. Secondo Vaccaro, la realizzazione di queste illustrazioni doveva servire all'architetto per svincolarsi nella fase iniziale, per dare estro ad immaginazione e arte, con un successivo

adattamento al contesto. La ricerca della funzionalità perfetta dell'edificio viene definita requisito tassativo della progettazione.

Attraverso questo strumento, si vuole dare all'architetto un supporto per lo studio funzionale dell'edificio e per la ricerca della disposizione ottimale come requisito fondamentale della scelta finale.

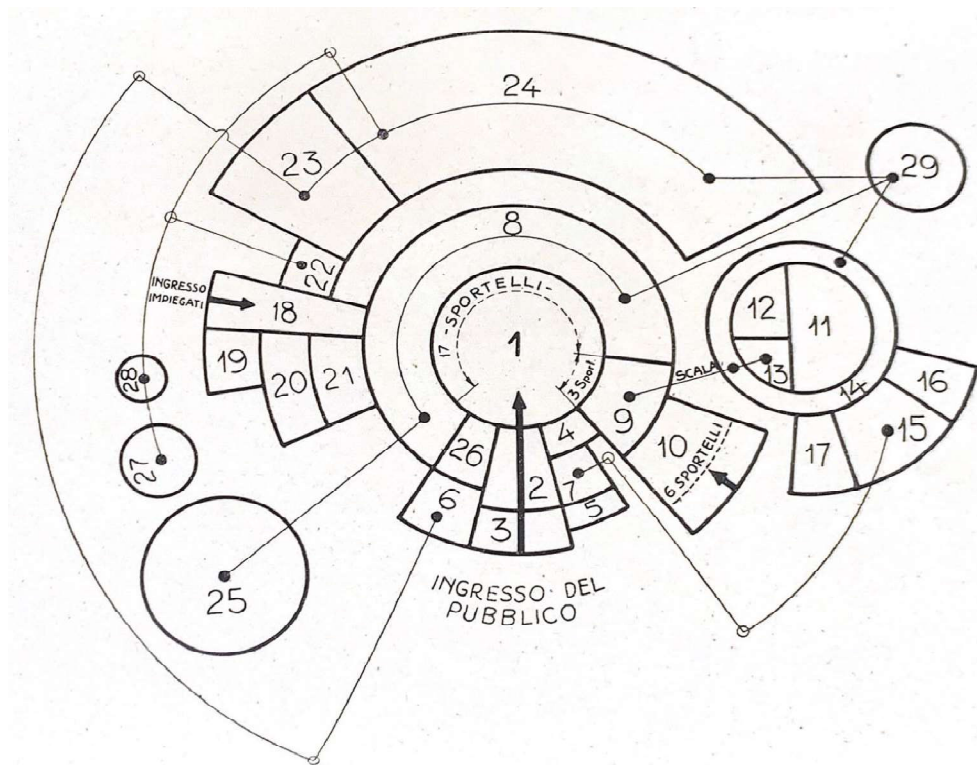


Fig. 37 - Restituzione concettuale della pianta di una banca (Vaccaro 1933)

In quegli anni si assisteva alla realizzazione degli edifici pubblici secondo dei canoni prefissati, perché si pensava che le funzioni e le necessità all'interno delle opere di questo tipo fossero sempre uguali.

L'edificio tipo nasce intorno ad un fulcro, elemento organico imprescindibile, che negli schemi assume una forma e una dimensione differente per sottolinearne l'importanza. Attorno a questo sorgono i locali secondari, a cui viene associata una dimensione proporzionata, che possa dare un'idea di quella reale, e che ha sempre una forma astratta.

Vengono sottolineati alcuni concetti geometrici rappresentativi: la *contiguità degli ambienti* viene realizzata tramite l'adiacenza dei locali, la *comunicazione tra i locali* avviene tramite linee di diverso spessore che possono anche avere *interferenze necessarie* in caso di incidenza, ad ogni figura limitata viene associato un *numero d'ordine* che fa riferimento ad una legenda nominativa oppure un nome in caso di spazio sufficiente a cui può essere associato anche il valore numerico dell'area.

Come sottolinea anche Vaccaro, più la rappresentazione sarà ricca di indicazioni grafiche e nominative, più sarà sintetica ed efficace.

Le regole che vengono quindi riportate sono le stesse che governano la realizzazione dei grafi precedentemente presentati e l'opera di Vaccaro può essere riconosciuta come un modello per la branca della teoria dei grafi, oltre che esempio pratico della sua applicazione.

Con l'avanzare degli anni si iniziano ad avere a disposizione degli strumenti più evoluti, che permettono l'automatizzazione di molte delle mansioni che venivano fatte manualmente. Un esempio è quello del

generative design, ossia la ricerca della disposizione ottimale degli ambienti in base alle regole che vengono imposte nelle fasi iniziali della progettazione.

Nel 2002 Scott Arvin e Donald House pubblicano il loro lavoro che ha come tema principale proprio la ricerca di uno strumento informatico che si sostituisca al *generative design* manuale (Arvin and House 2002). All'interno del loro studio, si pone l'attenzione sull'importanza di lavorare con delle forme geometriche primitive, che non siano riconducibili ad aspetti progettuali ma solo occupazionali all'interno di uno spazio definito.

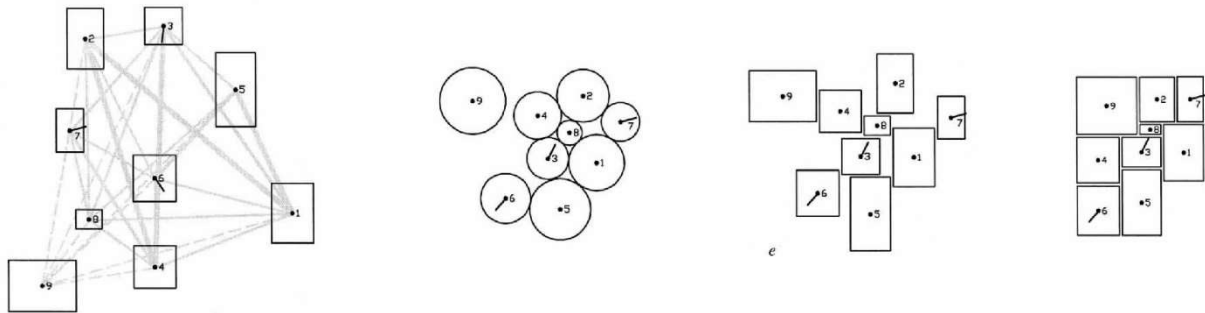


Fig. 38 - Fasi del Generative Design (Arvin and House 2002)

Gli elaborati finali presentano quindi un aspetto molto astratto, in cui gli ambienti sono delimitati da un perimetro e sono denominati tramite l'utilizzo di un valore numerico. Diventa importante definire il centroide di queste figure, ossia la "posizione media" di tutti i suoi punti o media aritmetica delle posizioni di ciascuno. Questo si identifica come nodo del locale, che successivamente sarà collegato agli altri ambienti in caso di adiacenza con l'utilizzo di *edges*.

Si assiste ai primi tentativi di informatizzazione del processo di schematizzazione tramite la *GT*.

Il sistema dei grafi può essere individuato anche in strumenti che vengono utilizzati in applicazioni che vengono utilizzate comunemente.

È il caso di Google Maps, uno strumento molto diffuso che permette l'identificazione di un luogo e il suo raggiungimento tramite il percorso migliore. Questa applicazione funziona tramite un algoritmo, inventato nel 1959 e chiamato *Dijkstra's Algorithm*, che prende il nome dal suo inventore Edster Dijkstra (Gupta et al. 2016).



Fig. 39 - Esempio di riconoscimento dei percorsi in Google Maps

Al suolo urbano viene sovrapposta una rete composta da nodi che identificano le posizioni geografiche raggiungibili, collegati tra loro tramite delle linee definite dal sistema stradale. Viene richiesto l'inserimento di un punto di partenza e di un punto di arrivo e l'algoritmo trova il percorso migliore che li collega. La definizione di percorso migliore fa riferimento ad alcune *regole* imposte all'algoritmo; in termini di percorso stradale, per esempio, si parla di percorso più breve, l'esclusione di strade non accessibili o a senso unico di marcia, eventuali costi dovuti a caselli stradali o presenza di traffico che ne allunga i tempi di percorrenza.

Nel corso degli anni, attraverso gli esempi che sono stati citati, si può vedere come l'utilizzo dei grafi sia stato uno strumento utile per la visualizzazione di problemi nel campo dell'architettura e dei trasporti. La ricerca di uno strumento grafico spesso risulta essere efficace per trasformare un caso studio in una forma concettuale, per la comprensione di dinamiche e fenomeni attraverso l'utilizzo di forme semplici e più immediate. Nelle fasi iniziali della progettazione non viene mai cercata una rappresentazione dettagliata e la teoria dei grafi si presenta come uno strumento adeguato per molti utilizzi, oltre che base su cui poter costruire algoritmi più complessi.

GT nel BIM, potenzialità e possibili utilizzi

Nel paragrafo appena concluso si è potuto vedere come il tema della rappresentazione concettuale nell'architettura sia sempre stato studiato in quanto ritenuto importante, in particolare nelle fasi iniziali di progetto. La ricerca delle dinamiche che si vengono a creare deve essere il punto di partenza del progetto e requisito fondamentale per la scelta della configurazione ottimale.

Fino ad ora sono stati trattati alcuni esempi iconici del Novecento, ma la ricerca bibliografica può essere allargata a pubblicazioni più recenti. La trattazione di questi temi, inizialmente poco utilizzata nella pratica, recentemente è tornata centrale nel campo dell'architettura, anche grazie allo sviluppo di software dedicati e linguaggi di programmazione che permettono la realizzazione di funzioni molto più elaborate.

Nel campo della ricerca, si sta cercando di affiancare la teoria dei grafi al BIM. Si pensa infatti che la completezza informativa del modello possa essere semplificata in una rete di *nodes* collegati tra loro, per ricondurre l'intero complesso architettonico ad uno schema concettuale. Attualmente, la ricerca spazia in studi che hanno finalità diverse, ma tutti dimostrano che la teoria dei grafi è un supporto valido per la traduzione delle dinamiche che le differenti possibilità progettuali implicano in un edificio.

La realizzazione di una funzione che dia la possibilità di convertire il modello BIM in una rete di punti potrebbe facilitare la realizzazione di simulazioni preliminari, che diventerebbero uno strumento di scelta per la progettazione ottimale.

In maniera molto intuitiva, la rete di punti si compone dei centroidi dei locali che compongono l'edificio (*nodes*), collegati tra loro in caso di comunicazione diretta.

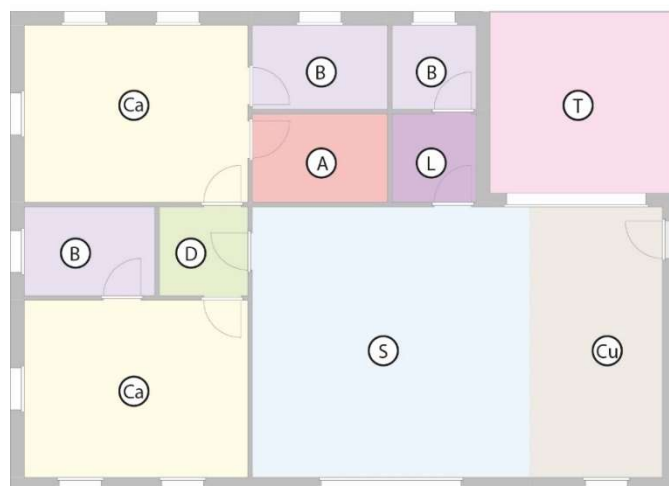


Fig. 40 - Schematizzazione in GT di una pianta tipo

La rappresentazione risulta essere efficace sia nello studio delle piante, quindi in forma bidimensionale, sia per compiere analisi più generali su tutto l'edificio, tramite quindi elementi tridimensionali.

Vengono ora presentati tre macro argomenti che mostrano come la teoria dei grafi può integrarsi nel BIM.

Accessibilità e percorsi

Lo studio dell'accessibilità è uno dei più semplici ed intuitivi. Dal punto di vista architettonico, un locale si definisce accessibile nel momento in cui esiste un varco fisico che ne permette l'ingresso. La comunicazione tra due locali è definita quindi dall'esistenza, solitamente, di una porta o di un'apertura nell'elemento architettonico che li delimita (Jarzyna 2021).

Eseguendo una schematizzazione di tutti i locali, riportandone come detto i centroidi, e il successivo collegamento dettato dalla loro accessibilità, si ottiene quindi una mappa costituita da tutti i percorsi possibili nella pianta. I percorsi non saranno delle linee dirette da nodo a nodo ma avranno una conformazione tale da descriverne il passaggio attraverso l'elemento di accesso (porta).

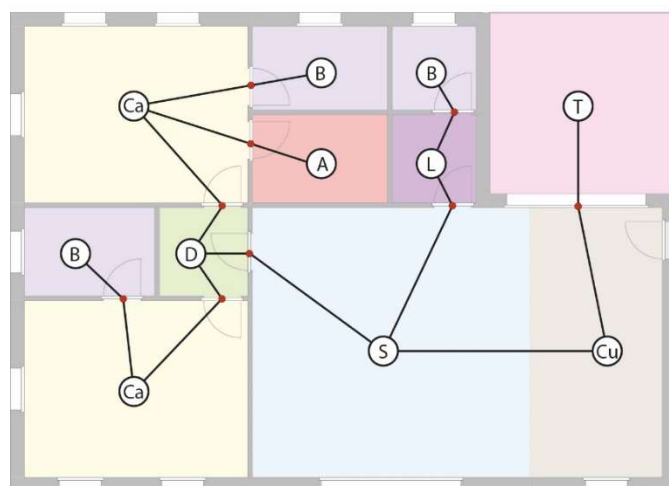


Fig. 41 - Rappresentazione dei percorsi della pianta in Fig. 38

Una schematizzazione di questo tipo permette quindi di creare una panoramica di tutti i percorsi e dei flussi che si formeranno durante l'attività dell'edificio, mettendo in luce le zone più utilizzate ed affollate e quelle più libere. L'entità dell'ampiezza di un flusso è dato dal numero di ambienti che questa serve oppure dalla grandezza e dalla capienza degli ambienti serviti. L'esempio può essere l'atrio di una scuola, luogo che risulterà affollato nei momenti di ingresso e uscita degli studenti, oppure un corridoio che funge da distributivo per un numero elevato di aule o uffici.

La sola mappa dell'accessibilità e dei percorsi è quindi una base per una serie di semplici ragionamenti iniziali.

Grazie ad un'elaborazione delle informazioni che vengono fornite dallo schema dei percorsi, si possono fare ulteriori simulazioni.

Prende sempre più piede, infatti, lo studio dei percorsi più veloci (studio delle tempistiche) o più brevi (studio delle distanze) dati un punto iniziale e uno finale.

Nella pubblicazione (Strug and Ślusarczyk 2017) viene sviluppato uno studio che mette in evidenza un'applicazione dell'elaborazione del sistema di percorsi all'interno di un edificio. Parte tutto, infatti, dalla schematizzazione della pianta in nodi e linee di collegamento con l'utilizzo della *GT*, con la successiva ricerca del percorso ottimale in termini tempo e lunghezza tra due punti assegnati, attraverso l'utilizzo di un algoritmo di ricerca di *shortest path*.

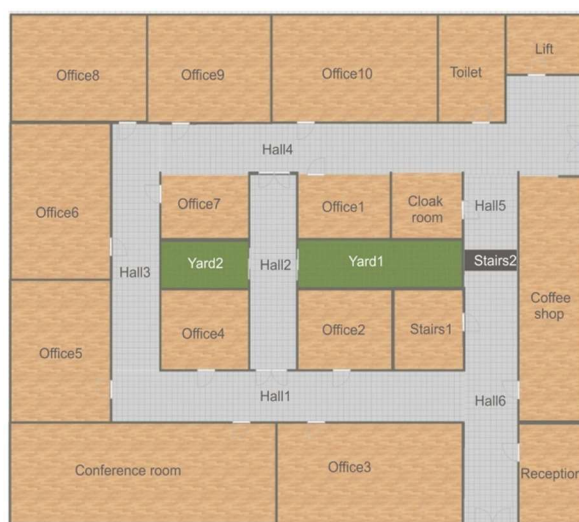


Fig. 42 – Interfaccia di lavoro (Strug and Ślusarczyk 2017)

Successivamente, viene elaborato ulteriormente il problema attraverso l'applicazione di alcune regole che vincolano il percorso, come l'accessibilità degli ambienti al pubblico o gli ostacoli che si incontrano nel tragitto. Nel primo caso, il percorso deve essere compiuto da un soggetto che si muove in sedia a rotelle, per il quale non tutti gli ambienti risultano accessibili, come nel caso in cui ci fossero delle scale. In un secondo esempio, invece, non tutto il personale ha accesso a tutti gli ambienti esistenti, quindi l'algoritmo dovrà scartare i percorsi che ne prevedono il passaggio.

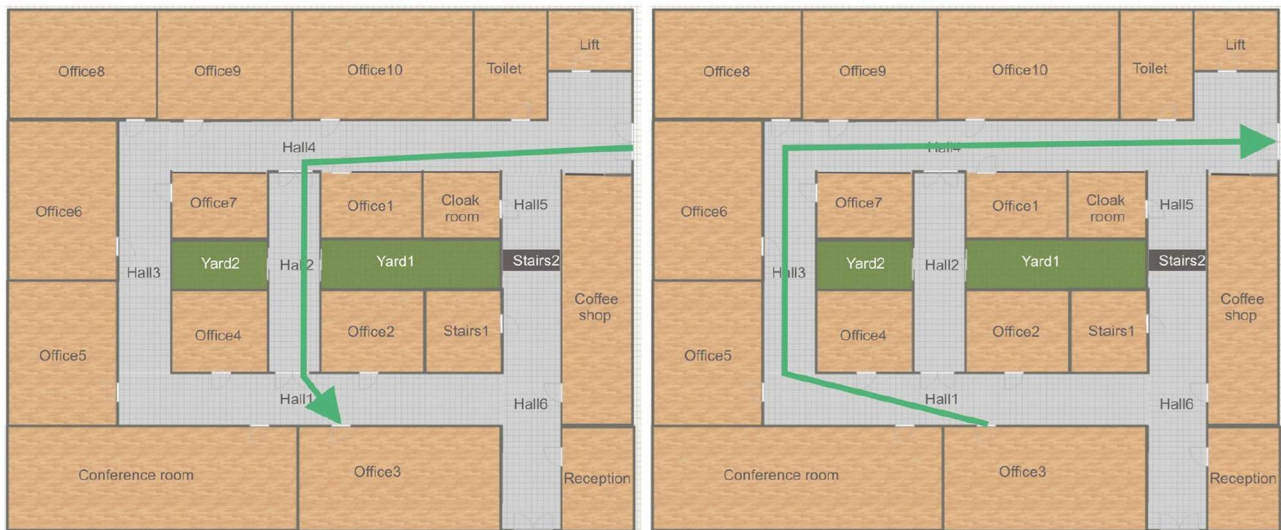


Fig. 43 - Risultati dell'algoritmo per il *shortest path* (Strug and Ślusarczyk 2017)

Vi è quindi la necessità di compiere un ricalcolo del percorso, con la ricerca di un nuovo percorso ottimale che tenga conto dei vincoli presentati prima della simulazione.

Allo stesso modo, altre pubblicazioni elaborano il concetto di percorso più corto, con la ricerca del percorso ottimale, definito come quello che necessita il tempo minore per essere compiuto (Jarzyna 2021).

Lo studio dell'accessibilità diventa quindi una simulazione basica, che può però anche essere elaborata per ottenerne di più complesse.

Sicurezza

Questa sezione è in stretto contatto con quella dell'accessibilità, in quanto la ricerca del percorso ottimale sta alla base di molte simulazioni di sicurezza.

Il primo aspetto che vuol essere presentato è l'*emergency management*, ossia la gestione e la simulazione di tutte le situazioni di emergenza che possono esistere durante la vita utile di un edificio. Questa branca ha un particolare interesse e un'applicazione efficace nel campo delle opere pubbliche particolarmente affollate, come aeroporti, stazioni, ecc. A differenza delle opere private, come le residenze, risulta necessario lo studio dei migliori percorsi in casi di emergenza differenti, in quanto le persone coinvolte nell'evento non sono a conoscenza delle vie più veloci e meno pericolose per l'evacuazione dell'edificio. I casi di emergenza più diffusi sono legati agli incendi, quindi la sicurezza al fuoco. Nella pubblicazione di (Zadeh and Jamali 2010), viene presentato un metodo per la ricerca dei percorsi minimi porta a porta tramite la *GT* e la creazione del percorso ottimale verso l'uscita più vicina. Viene messo in luce come una simulazione effettuata sul modello BIM possa avere aspetti positivi. Nella ricerca del percorso ottimale si riprende il concetto presentato precedentemente, quindi la necessità di un percorso veloce e di una distanza breve verso la prima uscita disponibile, a cui viene anche affiancato un fattore legato alla sicurezza delle persone. Le informazioni contenute all'interno di un modello BIM influiscono nella scelta del percorso perché, oltre agli aspetti geometrici, sono contenuti anche quelli fisici, che possono dare un'idea della propagazione del fuoco data dall'inflammabilità dei materiali presenti.

Sempre con le stesse premesse, nella pubblicazione di (Mirahadi and McCabe 2021) viene mostrato che l'applicazione di questi ragionamenti porta alla gestione di un edificio anche molto complesso ed esteso,

in cui per ambienti diversi le uscite di emergenza risultano differenti proprio in base alla ricerca del percorso ottimale verso l'esterno.

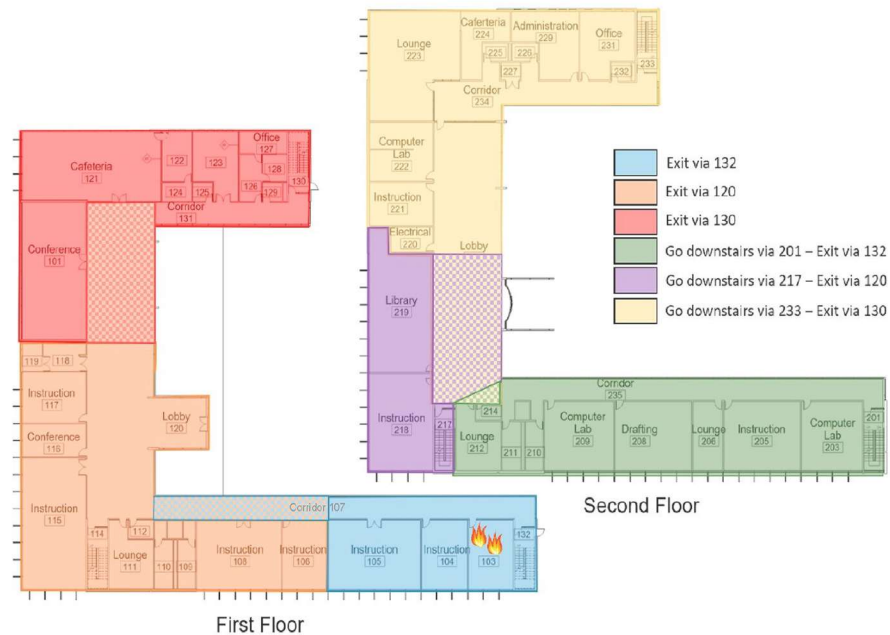


Fig. 44 - Elaborazione dei risultati di *shortest path* nel sistema di evacuazione (Mirahadi and McCabe 2021)

Questa ricerca permette la creazione di piante specifiche di evacuazione, in cui con colori differenti vengono raccolti gli ambienti che hanno l'uscita di emergenza in comune.

Lo studio può essere ulteriormente elaborato con la ricerca dinamica delle vie di evacuazione ottimali in base all'ambiente in cui nasce l'incendio e la successiva propagazione.

Questi sono alcuni esempi di come la *GT* possa essere utilizzata per realizzare varie simulazioni nel campo della sicurezza e gestione delle emergenze.

Organizzazione

Un'ulteriore elaborazione della funzione di accessibilità è la ricerca del sistema organizzativo degli ambienti in una pianta.

Un edificio viene concepito inizialmente come un involucro esterno, in cui devono essere contenuti un certo numero di locali di cui viene indicata la destinazione d'uso e la metratura minima richiesta. A seconda del metodo utilizzato per compiere il processo di inserimento dei locali, solitamente tramite conoscenze pregresse o esperienza, ogni singolo professionista può proporre una diversa disposizione dettata principalmente dalla casualità o da concetti di comodità. Ma non solo, lo stesso utente può produrre un numero elevato di elaborati differenti in cui vengono organizzati i locali in maniera diversa. Per ogni disposizione sarà quindi utile prendere visione dei pregi e dei difetti, canoni che rendono quindi possibile la creazione di una classifica di merito e la successiva scelta. Questa ricadrà nella disposizione ottimale, definita come quella per cui i pregi saranno maggiori, in termini di numero e di importanza, rispetto ai difetti.

Diventa importante la definizione di alcune regole che hanno il compito di vincolare la classifica di merito e a cui vengono assegnate delle differenti importanze. Questo concetto è lo stesso che è stato precedentemente presentato nello studio di Klein, ma è tutt'ora attuale (Bevilacqua 2011).

Sono presenti dei vincoli che sono in stretto contatto con il sistema di percorsi che è possibile produrre tramite la funzione di accessibilità dei locali. In alcuni casi, per esempio, è richiesta la vicinanza tra alcuni locali oppure la sistemazione di una categoria di ambienti in una porzione di edificio. Un esempio può essere la progettazione di un ospedale, in cui l'edificio si divide in reparti e a loro volta ci sono delle sale che devono essere vicine per garantire l'immediato soccorso dei pazienti.

La scelta dell'organizzazione degli ambienti diventa quindi un'analisi di tutte le possibilità, con la realizzazione di grafici nodali che ne schematizzano i percorsi mettendo in luce i flussi di percorrenza principali. Questi diventano regole importanti per la decisione finale. Il BIM in questo processo assume importanza in quanto i locali non hanno solamente una definizione geometrica, ma anche identificativa rispetto alla destinazione d'uso.

Tornando al tema della sicurezza, la disposizione degli ambienti ha un ruolo fondamentale anche nella creazione delle vie di fuga in un edificio. A seconda infatti della presenza, dimensione e forme dei locali, l'uscita assume percorsi differenti. La scelta finale deve quindi tener conto del percorso che un gruppo di persone deve compiere in momenti di emergenza, con ambienti adeguati rispetto all'entità del flusso atteso.

In edifici complessi pubblici, come aeroporti o stazioni, la disposizione degli ambienti diventa molto importante poiché, nello stesso edificio, devono coesistere locali che si differenziano per la loro accessibilità (pubblici e privati) e per la creazione di una rete di vie di fuga, che devono gestire la divisione di flussi molto grandi per evitare dinamiche di assembramento (Porter et al. 2014).

In tutte le casistiche presentate, i grafi lavorano meglio nel momento in cui le simulazioni che vengono effettuate lavorano in contemporanea con il modello BIM. Questo principalmente perché non vengono effettuate su un modello solamente geometrico, bensì su uno che presenta molteplici informazioni relative ai locali che lo compongono. Allo stesso modo, non viene richiesta la realizzazione di modelli specifici per la simulazione che si vuole effettuare.

La schematizzazione in nodi non è solamente una rappresentazione geometrica, ma nel BIM assume un contenuto informativo molto importante nei confronti dei materiali costituenti, l'identificazione della destinazione d'uso o le dimensioni. Attraverso le elaborazioni di algoritmi specifici, viene resa possibile la collaborazione di tutte queste informazioni, facendole diventare regole che hanno una valenza importante in fase di decisione per la ricerca della forma ottimale.

Allo stesso modo, la *GT* diventa uno strumento molto semplice anche nelle fasi successive alla progettazione, per la realizzazione di simulazioni legate alla sicurezza dell'edificio o la gestione delle emergenze. Come visto nei paragrafi precedenti, alcune informazioni contenute nel modello informativo rendono possibile la ricerca della loro migliore gestione, attraverso lo studio di tutti i fattori che ne favoriscono la progressione.

Nelle pubblicazioni precedenti questo tipo di studio è stato effettuato tramite l'utilizzo di interfacce di programmazione, ma l'obiettivo è renderlo uno strumento più semplice ed accessibile a tutti, in modo da permetterne la diffusione ed il successivo utilizzo da parte di utenti meno specializzati, come se fosse una semplice funzione integrata nei software BIM.

Topologic Dynamo

VPL

Uno degli aspetti che caratterizza i software di modellazione, ma non solo, solitamente è l'organizzazione dell'interfaccia preimpostata dagli sviluppatori. Questo, per certi aspetti, risulta essere un vantaggio per gli utenti che ne fanno utilizzo, in quanto la definizione delle funzioni presenti ed utilizzabili al suo interno permette la migliore comprensione delle potenzialità e dei possibili utilizzi dello strumento che si sta utilizzando.

In altri contesti, però, le sole funzioni proposte risultano essere poche, nei casi più gravi anche mal sviluppate, oppure non sufficienti per l'utilizzo desiderato. In questo caso, la risoluzione del problema di inadeguatezza del software sta nella ricerca di un programma differente.

Ci si trova quindi in una situazione in cui i software sono definiti a *black box*, cioè limitati agli utilizzi che sono stati pensati dagli sviluppatori. Questo è comprensibile in quanto sarebbe impensabile la realizzazione di uno strumento adeguabile a tutti i casi specifici possibili, sviluppando invece delle funzioni che siano universali negli utilizzi.

Per far fronte a questa limitazione sta sempre di più prendendo piede la realizzazione di plug-in, ossia programmi aggiuntivi che vanno ad ampliare le funzioni del software in cui sono inseriti. Questi possono essere sviluppati da aziende che mettono a disposizione uno strumento in cui sono specializzati oppure supporti generici di programmazione in cui è possibile inserire codici appositamente realizzati.

I linguaggi di programmazione trovano grande utilizzo in quanto rappresentano uno dei pochi strumenti in grado di adattarsi ai casi specifici, con la creazione di codici oppure tramite l'utilizzo di altri copiati per similitudine del caso in esame ed adattati a quello specifico.

Attualmente, si possono riconoscere diversi linguaggi di scrittura, come Python o Java, equivalenti a livello di funzionamento, ma che differiscono tra loro principalmente per alcune forme testuali.

Negli ultimi anni, alcune ricerche hanno preso come punto di partenza proprio lo studio di come la programmazione possa inserirsi all'interno di software di diverso tipo per compiere delle funzioni più specifiche e create dall'utente per essere applicate al caso specifico.

Anche nel campo della modellazione geometrica si cercano di sviluppare, all'interno dei programmi, delle interfacce che diano la possibilità di integrare le potenzialità della programmazione, in modo tale da poter sviluppare funzioni più efficaci di quelle già esistenti o di nuove per casi più specifici.

La programmazione si pone come strumento per la continua ricerca di aggiornamento degli strumenti a disposizione del progettista.

Il problema dei linguaggi di programmazione è la difficoltà nell'apprendimento della scrittura e di utilizzo, che diventa veramente efficace a fronte di anni di formazione specializzata (Tsai 2019). In una dinamica di utilizzo all'interno di un altro software, spesso gli utenti non sono a conoscenza delle basi di programmazione e quindi non sono in grado di usufruire di questa possibilità oppure devono appoggiarsi a terzi per compiere qualsiasi tipo di funzione.

Per far fronte a questa difficoltà, nell'ultimo decennio, è nata una branca della programmazione che prende il nome di *Visual Programming Language*, un linguaggio che si differenzia da quelli citati precedentemente in quanto non testuale, quindi non composto da una successione di stringhe (Ghannad et al. 2019; Burnett 1999).

Il VPL ha come punto di forza la capacità di tradurre il linguaggio formale delle funzioni di programmazione in forma grafica. Queste non vengono esplicitate tramite la sintassi, ma tramite la manipolazione grafica di elementi (Burnett 1999). Uno *script* ha infatti le sembianze di un flusso di *nod*i, che descrivono perfettamente il procedimento logico che è stato fatto per il raggiungimento del risultato.

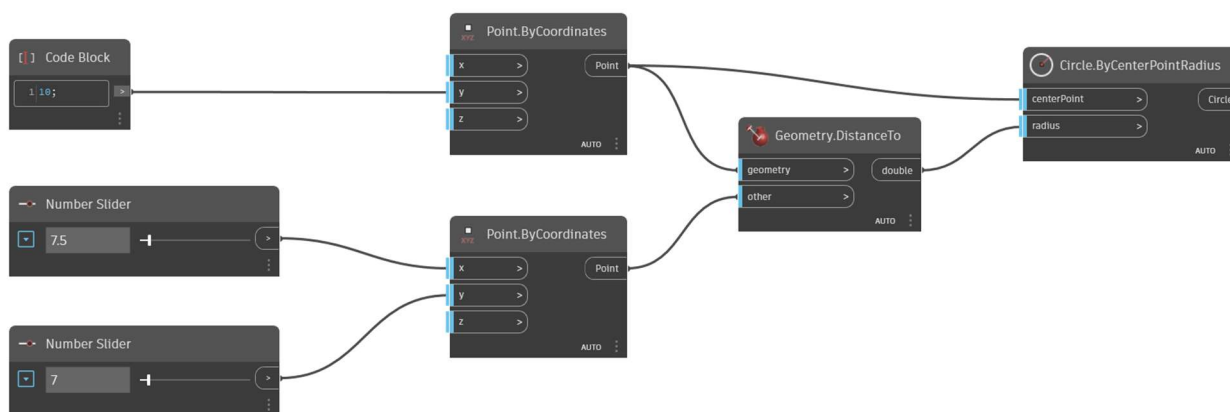


Fig. 45 – Esempio di script VPL

I benefici nell'utilizzo di questo strumento sono la maggiore accessibilità, e quindi la maggiore diffusione, e la possibilità di compiere molte mansioni automaticamente, rendendo possibile quindi una riduzione dei tempi per la ricerca di funzioni adeguate e negli errori nella loro realizzazione (Tsai 2019).

Per non creare una nuova classe di software *black box*, è sempre possibile la realizzazione di nodi personalizzati in cui scrivere codici tramite un linguaggio di programmazione testuale.

Attualmente, rispettivamente ai software di modellazione più diffusi, un esempio di *VPL* sono Grasshopper per Rhinoceros3D, Marionette per Vectorworks, AllPlan per Cad3D e Dynamo per Autodesk Revit (Ghannad et al. 2019).

Dynamo (Revit)

Nell'ambito del BIM, uno strumento di questo calibro affiancato ad una modellazione informativa apre un ampio campo di applicazione (Camporeale and Dell'Osso 2020).

Viene quindi presentato e approfondito nel seguente paragrafo Dynamo per Autodesk Revit.

Introduzione storica

Dynamo è un software di VPL di cui la prima versione compatibile con Autodesk risale al 2013 e che attualmente, da Revit 2020, è integrata nell'installazione del software.

Può funzionare in maniera indipendente (*sandbox mode*) oppure come plug-in di Autodesk Revit.



Fig. 46 - Interoperabilità tra Revit e Dynamo

Come visto anche nel paragrafo precedente, Dynamo nasce con lo scopo di fornire un supporto a questo software di modellazione, per dare la possibilità agli utenti di raggiungere nel modo più specifico e nel minor tempo possibile il risultato ricercato.

A differenza degli altri VPL, Dynamo può vantare un utilizzo molto più elaborato e supportato, in quanto viene utilizzato insieme al BIM, uno strumento informativo più completo rispetto agli altri (Ghannad et al. 2019). I due strumenti, se utilizzati al massimo delle loro possibilità, possono quindi essere il punto di forza per molte mansioni.

Interfaccia e funzionamento

Dynamo nasce all'interno di Revit e proprio per questo permette l'importazione del lavoro che in esso viene realizzato per essere ulteriormente elaborato.

Il software si presenta con un'interfaccia che mette a disposizione un'ampia libreria di funzioni, selezionate tra quelle più usate dagli utenti, che permettono di compiere numerose operazioni di diverso tipo. Queste vengono schematizzate attraverso dei nodi che vengono collegati fisicamente tra loro.

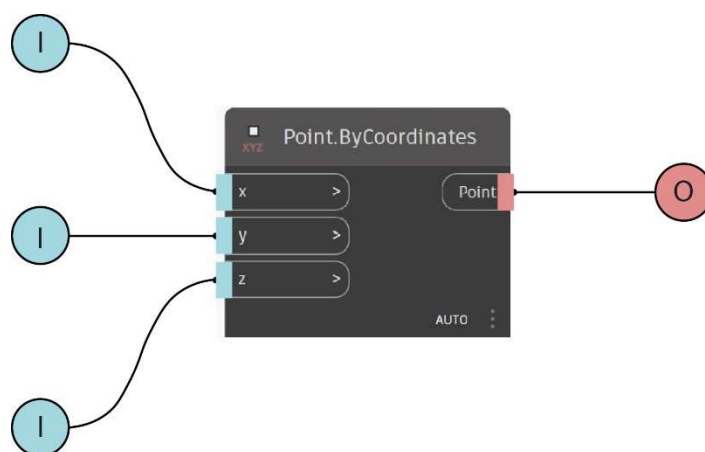


Fig. 47 - *Point.ByCoordinates*, esempio di nodo in Dynamo

Ogni nodo si compone di tre parti fondamentali .

La prima è l'*input*, ossia l'informazione che arriva dal nodo precedente e che attraverso il nodo subirà la variazione definita dalla funzione scelta. Gli *input* possono essere di diverso tipo: esistono infatti funzioni che richiedono uno o più valori numerici (solitamente per le funzioni di tipo geometrico-matematico), determinati elementi geometrici, valori nominali (che prendono il nome di *stringhe*) oppure un elenco ordinato di valori. Questo elenco in Dynamo prende il nome di *lista* ed è rappresentato da una successione di dati a cui viene assegnato, in ordine crescente, un indice di riferimento.

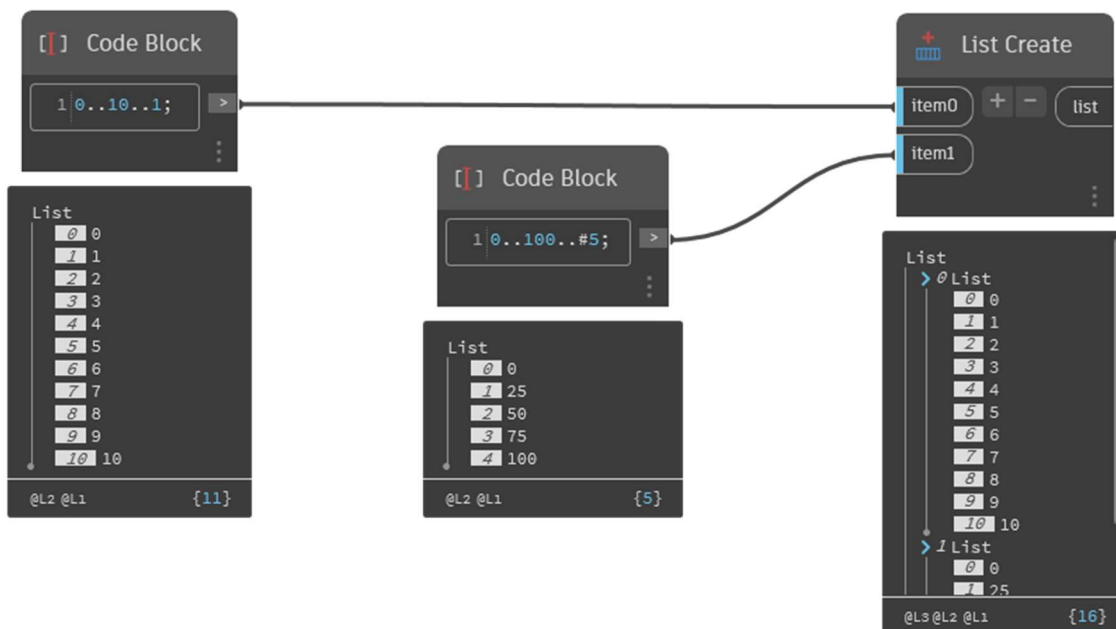


Fig. 48 - Esempio di liste in Dynamo

In caso di inserimento di un input differente da quello richiesto dalla funzione, il nodo risponderà come errore in fase di procedimento.

Ad ogni *input* corrisponde un *output*, ossia il dato elaborato secondo la finalità del nodo utilizzato. A seconda del tipo di funzione e del tipo di *input* che viene inserito inizialmente, il dato di *output* potrà essere un valore numerico o una stringa oppure una lista.

Infine, l'informazione più importante, è la funzione che il nodo permette di realizzare. Ogni nodo è composto da uno script testuale, realizzato dai fornitori del software, e che in Dynamo viene trasformato in un elemento nodale, a cui viene assegnata una spiegazione di come deve essere utilizzato.

Collegando *input* e *output* di nodi differenti, a seconda del caso, si realizza il codice e si raggiunge il risultato desiderato.

Il flusso risulta essere quindi la trascrizione grafica di un procedimento logico di programmazione testuale che parte da un elemento iniziale e si trasforma, secondo una serie di operazioni definite, nel risultato finale ricercato.

Organizzazione delle funzioni (categorie)

Come è stato detto anche in precedenza, le funzioni che sono realizzabili attraverso questo strumento sono molte e di diversa natura. La libreria è quindi organizzata in macrogruppi, composti da sottogruppi che raccolgono ulteriormente le funzioni nelle categorie di *creazione*, *elaborazione* e *analisi*. Queste

permettono quindi la realizzazione di elementi, la loro elaborazione tramite operazioni di diversa natura oppure la loro ispezione.

In questo paragrafo ci soffermeremo sulle due funzioni più importanti, in quanto utilizzate maggiormente in collaborazione con il BIM. Si parla infatti di categoria *geometry*, che permette la realizzazione grafica di elementi geometrici, e *list*, per la gestione e l'ispezione delle informazioni.

Il primo macrogruppo è quindi denominato *geometry* e, come dice chiaramente il nome, raccoglie tutte le funzioni di natura geometrica.

Queste, come detto in precedenza, permettono all'utente di realizzare ogni elemento geometrico piano o solido, dal punto al volume più complicato. Per questi ultimi spesso non esistono delle funzioni specifiche per la loro immediata creazione, ma nella categoria di elaborazione vengono messe a disposizione le funzioni che permettono l'esecuzione di operazioni booleane. Ogni figura, come visto anche nel capitolo precedente, può essere infatti definita tramite CSG.

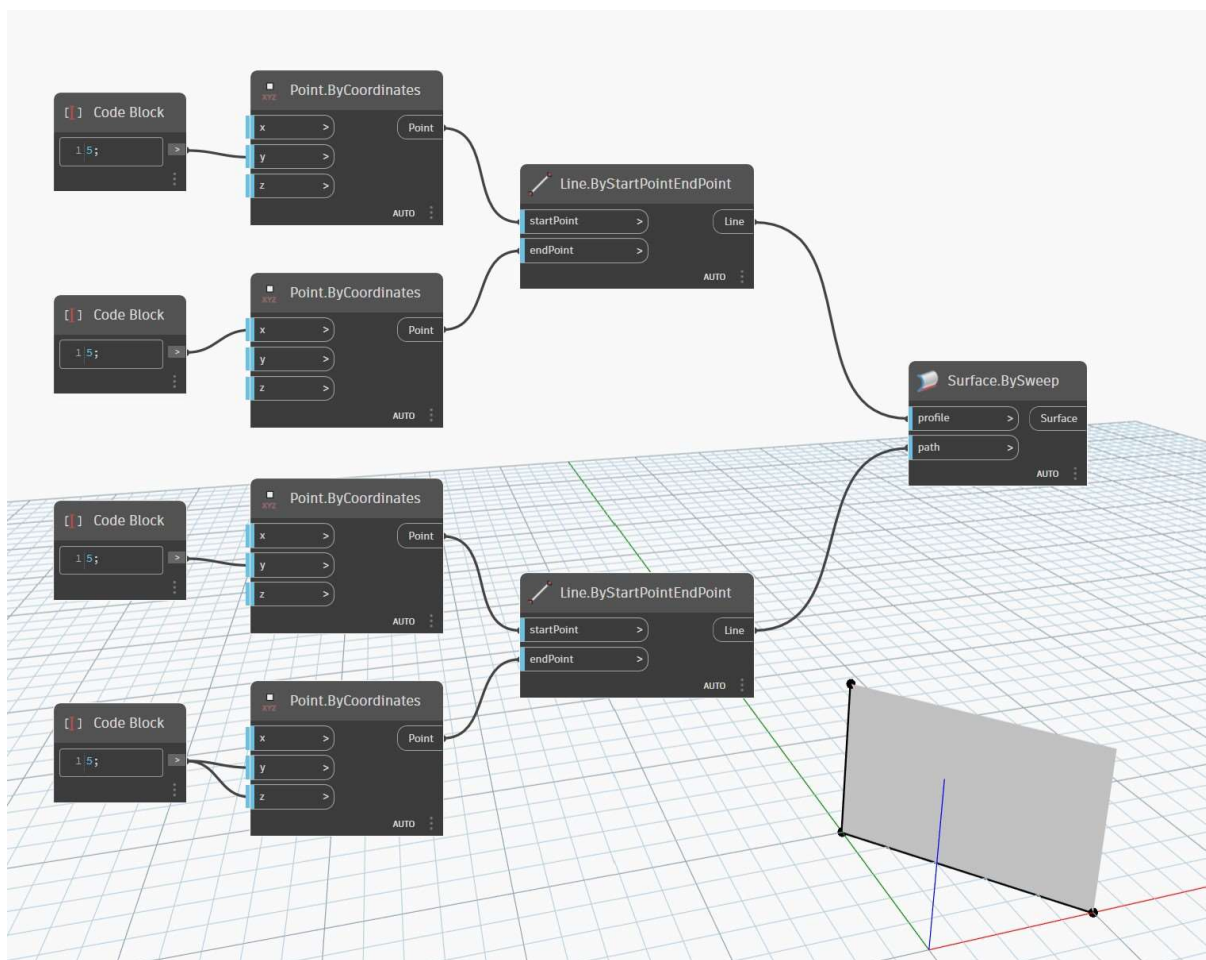


Fig. 49 - Esempio di script geometrico e restituzione grafica

Per ogni elemento realizzato o importato da Revit, è sempre possibile la sua ispezione geometrica.

Le funzioni geometriche vengono utilizzate principalmente come supporto per la realizzazione di elementi architettonici complessi da inserire all'interno del modello BIM. In questo caso, quindi, in ambiente Dynamo vengono realizzati dei veri e propri modelli, come quelli creati tramite la funzione massa, che poi vengono importati in Revit per la successiva costruzione degli elementi materiali sui rispettivi piani di riferimento (Aish Robert et al. 2018).

Queste funzioni sono quelle più immediate e che non richiedono una grande conoscenza del software, che viene utilizzato come se fosse un programma di modellazione geometrica.

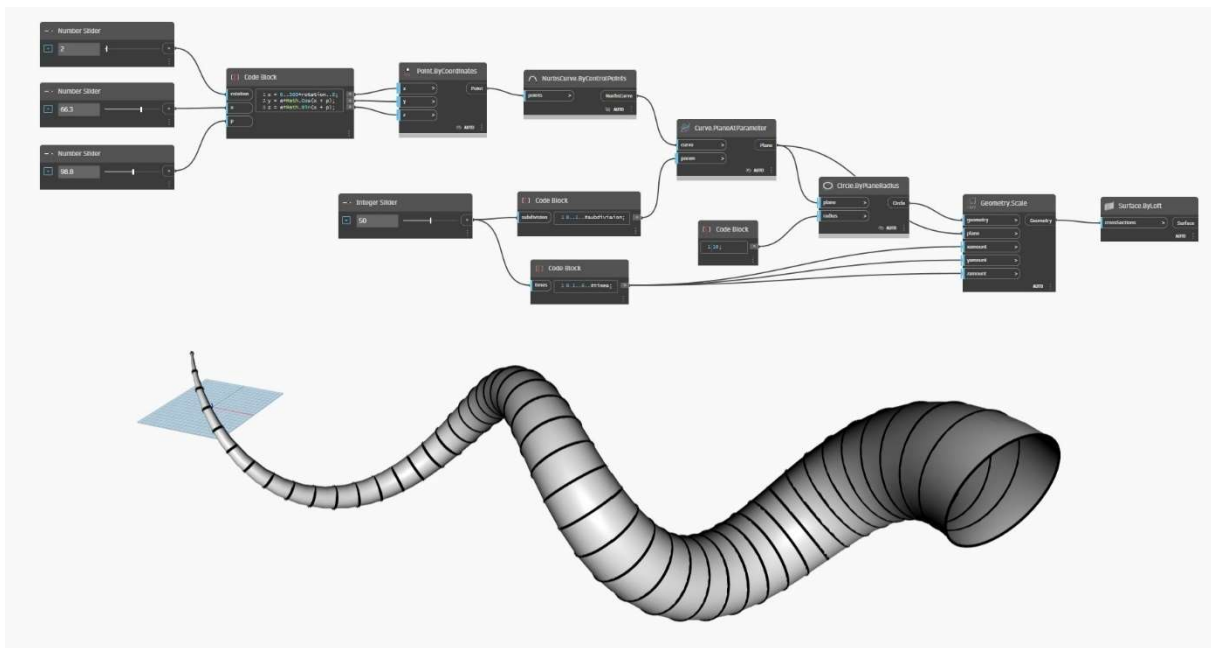


Fig. 50 - Esempio di forma geometrica complessa

La seconda funzione, precedentemente citata, prende il nome di *list*.

Come detto in precedenza, le liste fanno parte dei dati ammessi da Dynamo come *input* oppure possono essere il risultato di una funzione realizzata attraverso un nodo. Le liste si presentano, come già detto, come una successione di dati che segue l'ordine dei valori di *input* oppure, come nel caso di elenco di elementi geometrici nel modello BIM, la numerazione che viene data dal software in fase di creazione. Proprio seguendo quest'ordine, viene assegnato ad ogni dato una numerazione di *indice*.

Come per le altre categorie di funzioni, anche quelle relative alle liste si dividono tra loro in base alla loro finalità. Mentre le funzioni di *creazione* si limitano alla creazione effettiva di una lista (due o più elementi singoli possono essere uniti per formare una lista), quelle di *elaborazione* e di *ispezione* risultano molto efficaci. Le funzioni di elaborazione, infatti, permettono di intervenire direttamente all'interno della lista, cambiandone l'ordine secondo dei criteri, eliminando o aggiungendo dati, sostituendoli nel caso in cui non venga rispettata una condizione preventivamente scelta e molto altro. Le funzioni di ispezione, invece, rendono possibile la lettura semplificata dell'intera lista, con finalità quindi che prevedono la risposta immediata in termini di *vero* o *falso* a domande inerenti al loro contenuto.

A differenza delle funzioni geometriche, quelle delle liste non producono elementi grafici visibili nell'interfaccia.

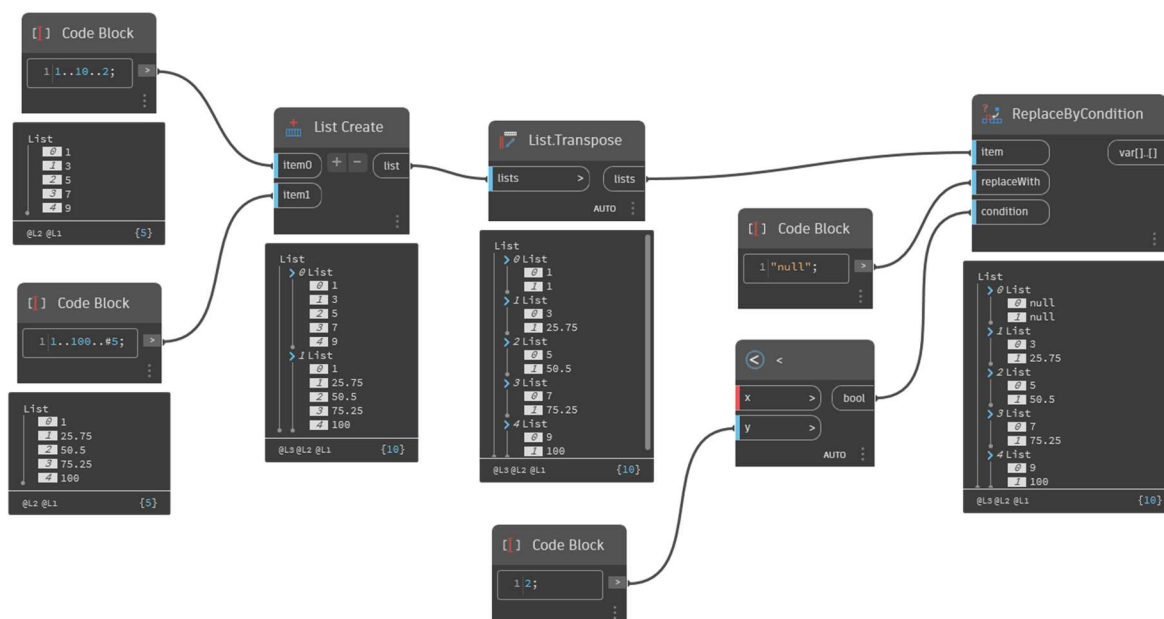


Fig. 51 - Esempio di script per l'elaborazione delle liste

L'utilizzo di queste funzioni all'interno del modello BIM permette la semplificazione in fasi di lettura e ispezione di tutte le caratteristiche riguardanti gli elementi costituenti del modello tridimensionale, come dimensioni o materiali, con la creazione di elenchi specifici degli attributi ricercati.

In questo caso si parla quindi di funzioni più complesse e differenti rispetto a quelle di natura geometrica e che necessitano uno studio più approfondito dello strumento.

Come detto in precedenza, queste sono le categorie di funzioni più utilizzate in Dynamo, ma ne esistono chiaramente altre adatte a compiti più specifici.

Pacchetti aggiuntivi

Dynamo nasce quindi come un software all'interno del quale viene fornita dagli sviluppatori una libreria di funzioni di diversa natura. Per non presentare un ulteriore software *black box*, vengono fornite alcune funzioni per renderlo applicabile in più casi possibili.

La prima soluzione viene fornita direttamente dalla libreria di Dynamo. Al suo interno infatti si può trovare il nodo *code block*, che permette l'inserimento diretto, all'interno di un'apposita interfaccia di programmazione testuale, di un vero e proprio script realizzato secondo il linguaggio di Python, per creare quelli che prendono il nome di *costume node*.

Questa funzione permette quindi all'utente di poter utilizzarne una più specifica rispetto a quelle già presenti, per esempio copiando il codice contenuto in un nodo simile o realizzato da terzi e modificandolo, oppure per integrarne uno già esistente.

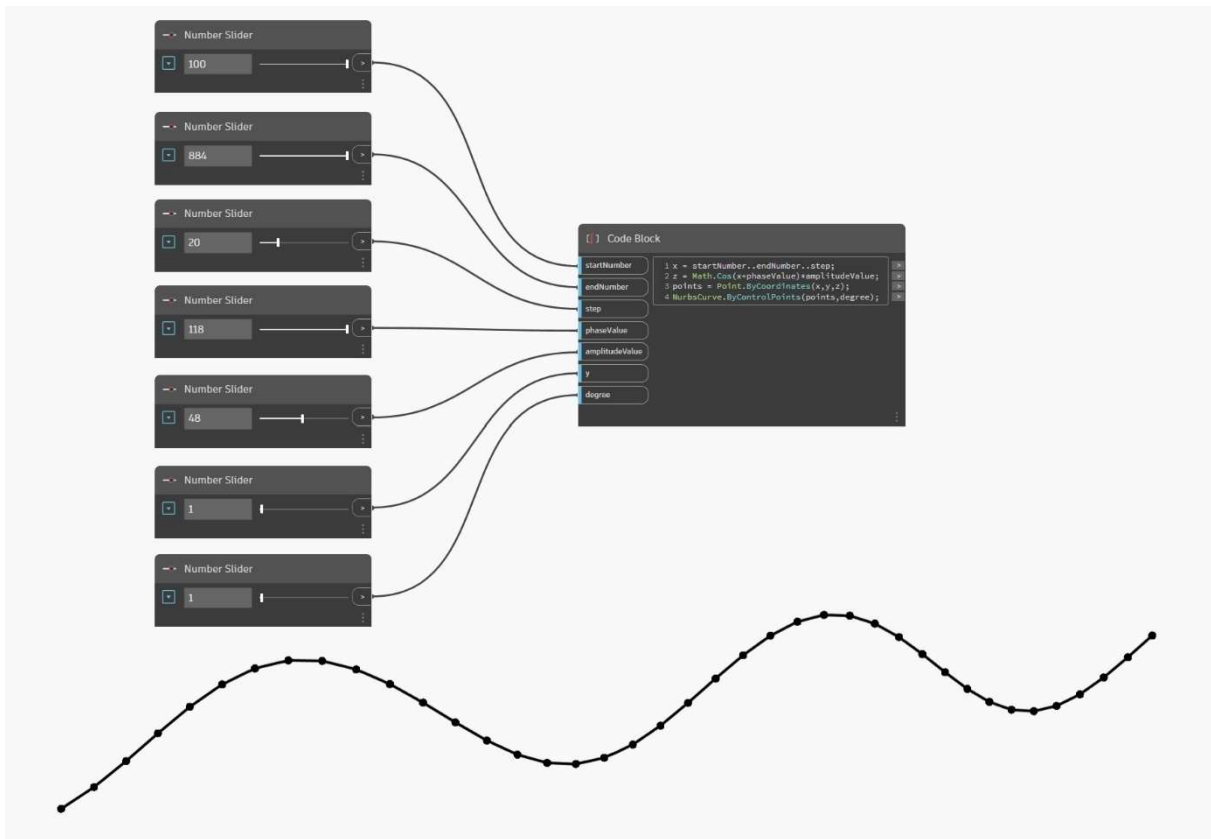


Fig. 52 - Esempio di Code Block

L'utilizzo di questo nodo prevede comunque una buona conoscenza dei linguaggi di programmazione e quindi, come anche detto nei paragrafi precedente, non è facilmente utilizzabile da tutti.

A semplificare questo primo metodo, Dynamo mette a disposizione un'espansione che permette di scaricare dei pacchetti realizzati da persone qualificate e specializzate in ambiti più specifici. Questo permette all'utente di avere un supplemento della libreria originaria, specifico in base al campo in cui si deve lavorare, e un supporto professionale valido.

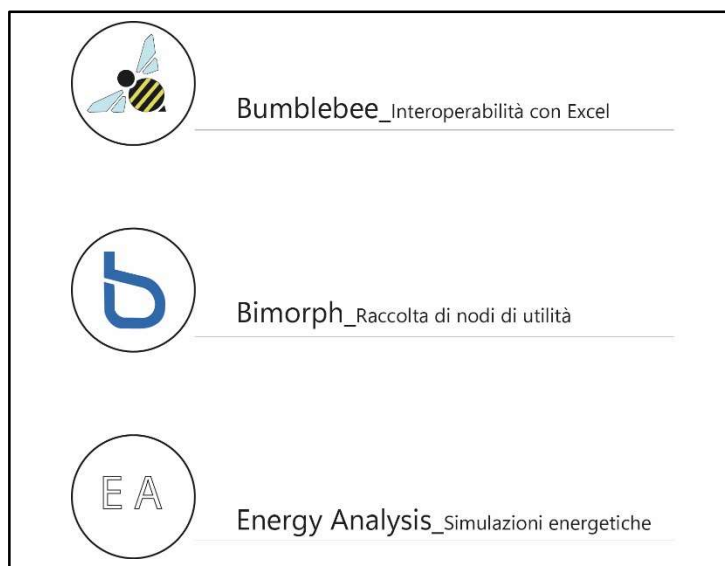


Fig. 53 - Alcuni pacchetti scaricabili per Dynamo e le loro funzioni

Il panorama di pacchetti scaricabili è davvero molto ampio e spesso per compiere la medesima funzione le possibilità di scelta sono molteplici. Attraverso un forum di Dynamo è possibile rimanere in continuo aggiornamento sulle nuove uscite e sulle nuove potenzialità. Ogni utente, infatti, può creare e mettere a disposizione delle community il proprio pacchetto.

Attraverso questa espansione, Dynamo permette il continuo aggiornamento delle funzioni realizzabili al suo interno. Come detto in fase di presentazione del BIM, si cerca di realizzare un modello unico su cui possano essere realizzate tutte le analisi e simulazioni necessarie: attraverso questo sistema di integrazione di pacchetti terzi si punta quindi ad avere un software unico che abbia tutte le funzionalità che ne avrebbe uno sviluppato appositamente per ogni precisa branca.

È semplice capire, quindi, come uno strumento come Dynamo possa diventare veramente potente se adeguatamente conosciuto ed utilizzato all'interno del flusso di creazione ed ispezione del modello BIM. Permetterebbe infatti di compiere nei tempi giusti tutte le simulazioni necessarie, senza appoggiarsi a terzi e senza dover spendere tempo nella creazione di modelli realizzati ad hoc per queste, in quanto tutto risulta importabile dal file Revit, dal quale viene aperta l'interfaccia di Dynamo.

Puntando sull'istruzione del personale sull'argomento, si possono potenzialmente formare dei professionisti in grado di utilizzare strumenti per poter svolgere compiti anche molto differenti. Rimane comunque distinta, di altro calibro e precisione, una simulazione realizzata da un personale formato in questo campo di applicazione.

Topologic

Tra i pacchetti che sono stati creati all'interno di Dynamo, si può trovare Topologic.

Topologic è un progetto che nasce nel 2016 dalla collaborazione di due ricercatori: Wassim Jabi, il project director, docente presso la *Welsh School of Architecture Cardiff University*, con una lunga formazione nel campo della programmazione e del design parametrico, e Robert Aish, il co-investigatore, docente presso la *Bartlett School of Architecture University College London*, i cui studi vertono sulle geometrie *non-manifold*. Malgrado la formazione differente, la creazione di questa collaborazione ha permesso la nascita di questo progetto.

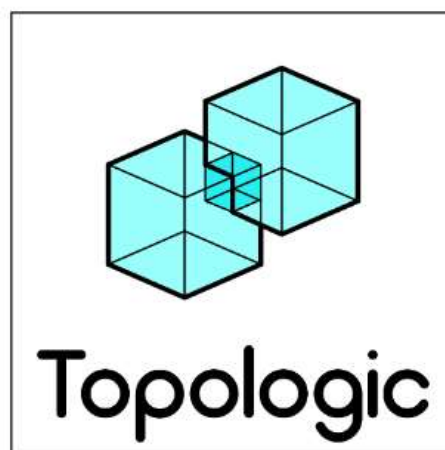


Fig. 54 – Logo di Topologic

Topologic, come suggerisce anche il nome, si propone come plug-in all'interno di *Dynamo* e *Grasshopper* per l'analisi topologica di un modello tridimensionale, un ponte tra la fase di progettazione concettuale e lo sviluppo del modello BIM. Grazie alle funzioni che presenta la sua libreria, viene data la possibilità ai progettisti di compiere simulazioni relative alle dinamiche spaziali degli ambienti che esistono all'interno di un edificio, per poter quindi compiere le scelte migliori prima di iniziare con la modellazione BIM (Jabi and Chatzivasileiadi 2021).

Il pacchetto si presenta quindi con le stesse sembianze dell'interfaccia di *Dynamo*, con una libreria divisa in sottocategorie che permettono la creazione di nodi, che successivamente dovranno essere collegati tra loro per ottenere il risultato ricercato. Tutte le funzioni presenti sono state sviluppate grazie al linguaggio di programmazione C++ e la loro finalità è la trasformazione degli elementi geometrici che vengono costruiti in Revit in geometrie *non-manifold*, su cui poter compiere successive elaborazioni. Topologic non funziona in maniera indipendente all'interno di *Dynamo*, ma le geometrie *non-manifold* che vengono realizzate possono essere elaborate ed ispezionate anche da funzioni non appartenenti a questo pacchetto. Topologic nasce come detto nel 2016, quindi è recente e non ancora ampiamente utilizzato, ma è in continuo aggiornamento.

A fronte di tutte le problematiche del BIM presentate nel Capitolo 1, Topologic vuole essere uno strumento che, se messo in relazione con altri, possa fornire una soluzione di facile accesso per tutti gli utenti di Revit.

Struttura gerarchica degli elementi topologici

Topologic pone le sue basi sul concetto definito di geometria *non-manifold*, di cui viene riportata una seconda volta la definizione già vista nel Capitolo 2.

Una geometria si definisce *non-manifold* se si compone sia di facce esterne, che dividono l'interno dall'esterno, sia da facce interne, che definiscono delle celle al suo interno.

Questo tipo di geometrie, come tutte le altre, trova la propria definizione in componenti geometrici elementari che sono in relazione gerarchica tra loro. All'interno di Topologic, questi elementi vengono trasformati in componenti topologiche, che differiscono nella definizione e nel nome (Jabi et al. 2018; Aish Robert et al. 2018; Jabi and Chatzivasileiadi 2021).

Vengono riportati in seguito gli elementi principali, rappresentati anche in figura, e il loro parallelismo all'interno dell'ambiente *Dynamo*.

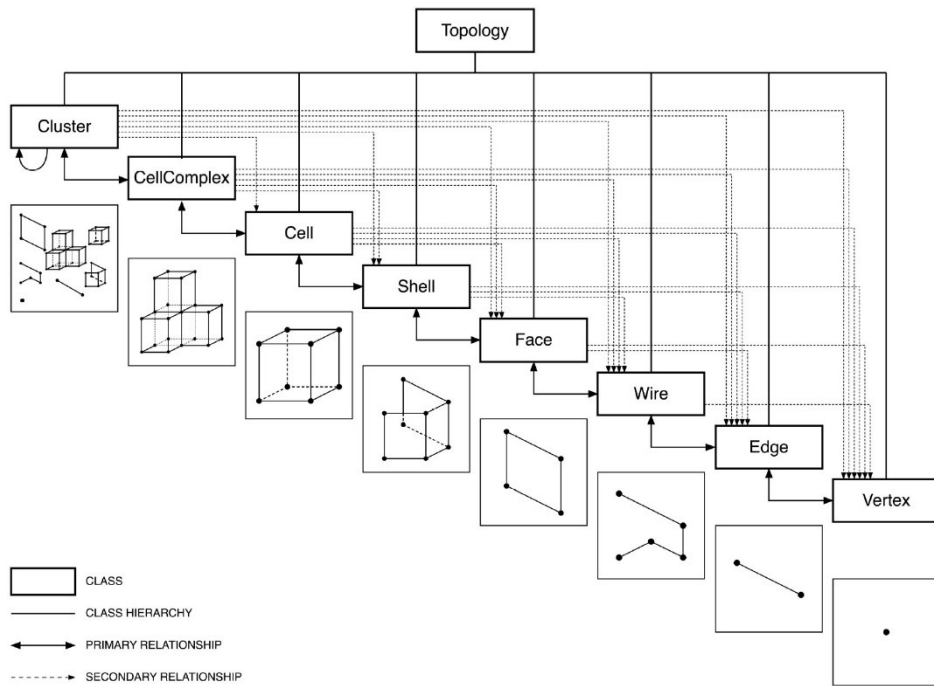


Fig. 55 - Struttura gerarchica delle topologie in Topologic (Jabi et al. 2018)

- *Vertex*: è l'elemento piano (0D) più semplice.
Corrisponde al *punto*.
- *Edge*: ogni *edge* è un elemento geometrico piano (1D) che trova la sua definizione nel riconoscimento di due *vertices*, uno di inizio e uno di fine.
Corrisponde alla *linea*.
- *Wire*: ogni *wire* è un elemento geometrico (2D) composto dall'unione di più *edges*, in relazione di adiacenza tra loro tramite la condivisione di un *vertex*. Ogni *wire* può essere aperto o chiuso e definire geometrie *manifold* o *non-manifold*.
Corrisponde alle *polilinee* (per *wire* aperti) o *figure geometriche piane* (per *wire* chiusi).
- *Face*: ogni *face* è un elemento geometrico piano (2D) definito come la superficie limitata da uno o più *wires* chiusi.
Corrisponde alle *superfici*.
- *Shell*: ogni *shell* è un elemento geometrico (2D o 3D) definito come l'unione di più *faces*, anche in questo caso in condizione di adiacenza e che condividono tra loro un *edge*. Ogni *wire* può essere aperto o chiuso e definire geometrie *manifold* o *non-manifold*.
Corrisponde ad una *superficie composta*.
- *Cell*: ogni *cell* è un elemento geometrico solido (3D) definito come l'unione di più *faces* o *shells* che definiscono una regione chiusa al loro interno. Anche in questo caso sono in condizione di adiacenza e condividono tra loro un *edge*. Possono essere geometrie *manifold* o *non-manifold*.
Corrisponde ai *solidi*.
- *CellComplex*: ogni *CellComplex* è un elemento geometrico solido (3D) definito come l'unione di più *cells* che sono in adiacenza tra loro, condividendo una *face*. In questo caso un *CellComplex* è definito come una geometria *non-manifold*.

Corrisponde ai *solidi* composti da solidi minori.

- *Cluster*: ogni *Cluster* è definito come una raccolta di una serie di elementi topologici non simili tra loro e non è quindi una categoria definita.

Un esempio di differenza tra geometria e topologia può essere per esempio dimostrata da una linea. La linea, nella definizione geometrica, è un elemento bidimensionale che ha un punto di inizio e di fine. Nella topologia prende il nome di *edge* e, oltre ad avere le stesse caratteristiche geometriche, assume la definizione di confine tra due facce adiacenti.

L'ordine in cui sono stati presentati è fondamentale: ogni elemento topologico è infatti condizione necessaria per l'esistenza di quello successivo.

Ogni elemento che viene importato dall'ambiente Revit viene riconosciuto da Dynamo come geometria *manifold* e, grazie all'utilizzo di Topologic, è possibile la sua conversione nell'elemento topologico corrispondente. Questo è reso possibile concretamente grazie ad un nodo che prende il nome di *Topology.byGeometry*, che richiede come input proprio una geometria *manifold* e restituisce come output il corrispettivo *non-manifold*.

A questo nodo ne corrisponde uno di funzione contraria, in grado di restituire una geometria *manifold* da una *non-manifold*, per l'importazione all'interno dell'ambiente BIM. Questo prende il nome di *Topology.Geometry*.

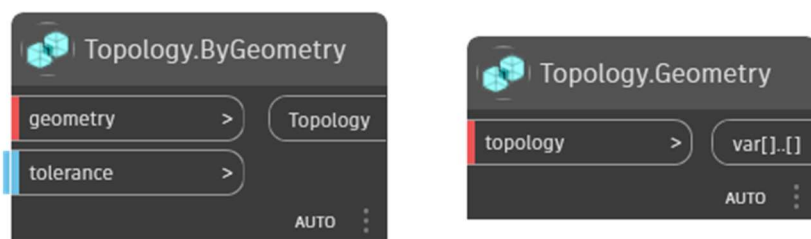


Fig. 56 – *Topology.ByGeometry* e *Topology.Geometry*, nodi per la trasformazione delle geometrie *manifold* in *non-manifold* e viceversa

Grazie alle relazioni di adiacenza e di condivisione di elementi topologici, l'ispezione di una qualsiasi geometria *non-manifold* permette all'utente di approfondire lo studio della relazione tra gli elementi di partizione al suo interno.

Graph Theory in Topologic

Oltre alla trasformazione delle geometrie da *manifold* a *non-manifold*, Topologic rende possibile la creazione di una mappatura dell'edificio secondo alcune impostazioni desiderate. Il pacchetto si propone quindi anche come ponte tra la modellazione BIM e la possibile applicazione della *Graph Theory* nel campo dell'architettura (Jabi and Chatzivasileiadi 2021). L'utilizzo delle geometrie *non-manifold* diventa quindi centrale per questo compito, in quanto la creazione dei grafi è possibile proprio grazie alla visualizzazione grafica di condizioni di condivisione di elementi topologici tra celle di una stessa unità, che sono traducibili in concetti di adiacenza e connessione tra ambienti differenti (Jabi 2015; Aish Robert et al. 2018).

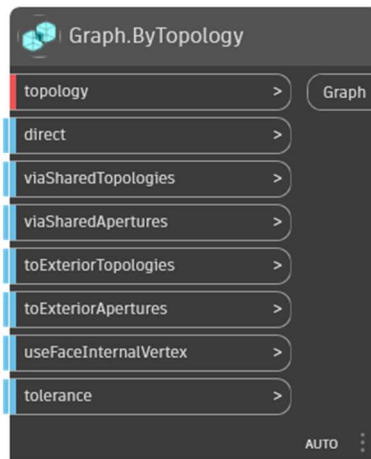


Fig. 57 - *Graph.ByTopology*, nodo per l'applicazione della GT in una topologia

Il nodo che permette la creazione dei grafi prende il nome di *Graph.byTopology* e, a seconda delle impostazioni che vengono indicate, si possono ottenere risultati differenti.

L'input fondamentale per il funzionamento del nodo è sicuramente una topologia, quindi una geometria *non-manifold*, trasformata tramite i nodi indicati precedentemente. Più in particolare, il nodo richiede come topologia di inserire un *CellComplex*, quindi una topologia riconosciuta come un elemento unico composto da partizioni interne in comunicazione tra loro. Non viene riconosciuto come un input valido un insieme di celle indipendenti tra loro.

Successivamente, attraverso l'utilizzo del nodo *Boolean*, possono essere attivate le impostazioni di input che permettono la creazione di grafi differenti. Tutti permettono comunque la creazione di una mappa creata da *vertices*, che indicano i centroidi dei locali esistenti, e una lista di *edges*, che li collegano tra loro seguendo l'input dato dall'utente.

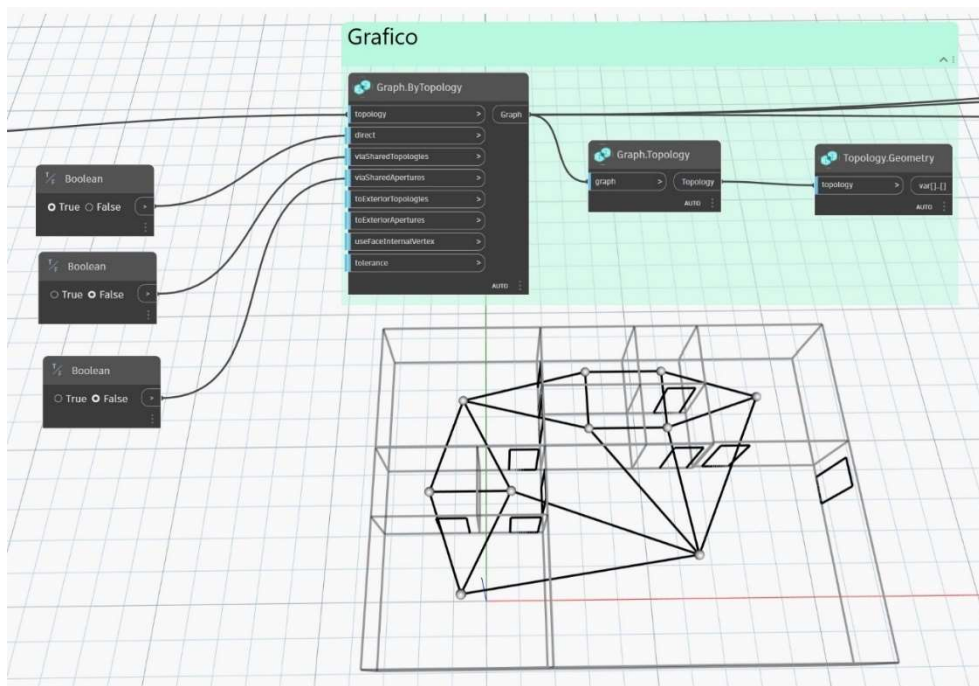


Fig. 58 - Grafo *Direct*

Il primo grafo realizzabile (**Fig. 58**), che è anche quello che in caso di mancata indicazione differente viene preso di default, si chiama *direct* e permette la creazione di una mappatura di *edges* che collega direttamente, quindi con la distanza minore, i centroidi di celle che condividono una faccia o una sua

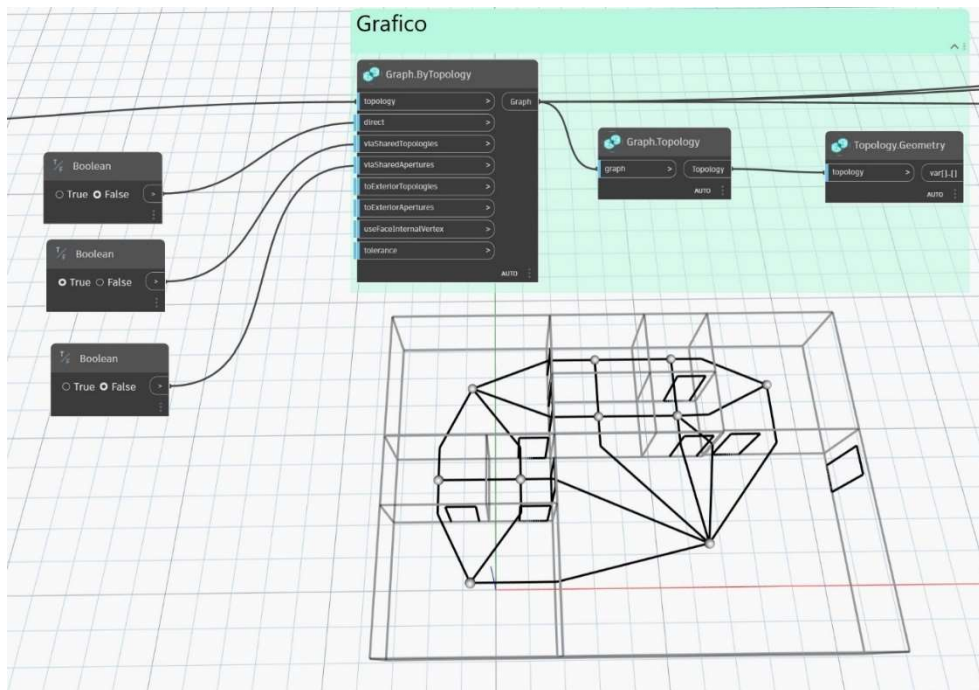


Fig. 59 – Grafo *viaSharedTopologies*

parte.

Il secondo (**Fig. 59**), invece, prende il nome di *viaSharedTopologies* ed è simile al precedente, ma restituisce un grafico che collega i centroidi delle celle adiacenti, i cui *edges* passano attraverso la topologia in condivisione. Gli *edges* non sono più la distanza minore tra i *vertices*, ma sono vincolati nel passaggio per un'altra topologia.

Questi due primi grafi realizzabili possono sempre trovare un'applicazione pratica nel campo dell'architettura, perché in alcuni casi specifici l'adiacenza è un fattore importante, ma come visto nel capitolo precedente l'accessibilità dei locali è un fattore molto più importante per la vera mappatura di un edificio.

L'accessibilità, come visto in precedenza, è data dall'esistenza reale di un varco architettonico che permette l'ingresso in un ambiente, quindi una porta oppure un'apertura in una parete perimetrale.

Per realizzare una mappatura di questo tipo (**Fig. 61**) deve essere quindi utilizzato il terzo input, che prende il nome di *viaSharedApertures*, che realizza una mappa di collegamenti che seguono i percorsi possibili all'interno di un edificio, esistenti solamente se viene riconosciuta un'apertura reale nelle facce delle celle.

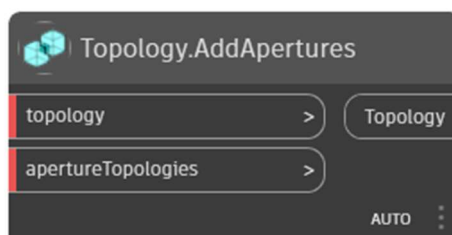


Fig. 60 - *Topology.AddApertures*, nodo per la creazione di aperture nel *CellComplex*

Per utilizzare quest'ultima impostazione, è necessario l'inserimento di un input di topologia differente rispetto a quello necessario per le due precedenti. E' necessario infatti fornire al nodo un *CellComplex* al cui interno siano state inserite le aperture esistenti nel modello BIM. Questo avviene tramite il nodo *AddAperture*, in cui è necessario inserire il *CellComplex* dell'edificio e le aperture trasformate in geometrie *non-manifold*. Nel caso delle porte sarà quindi necessario trasformare l'elemento in un contorno geometrico, che Topologic riconosce come *wire*.

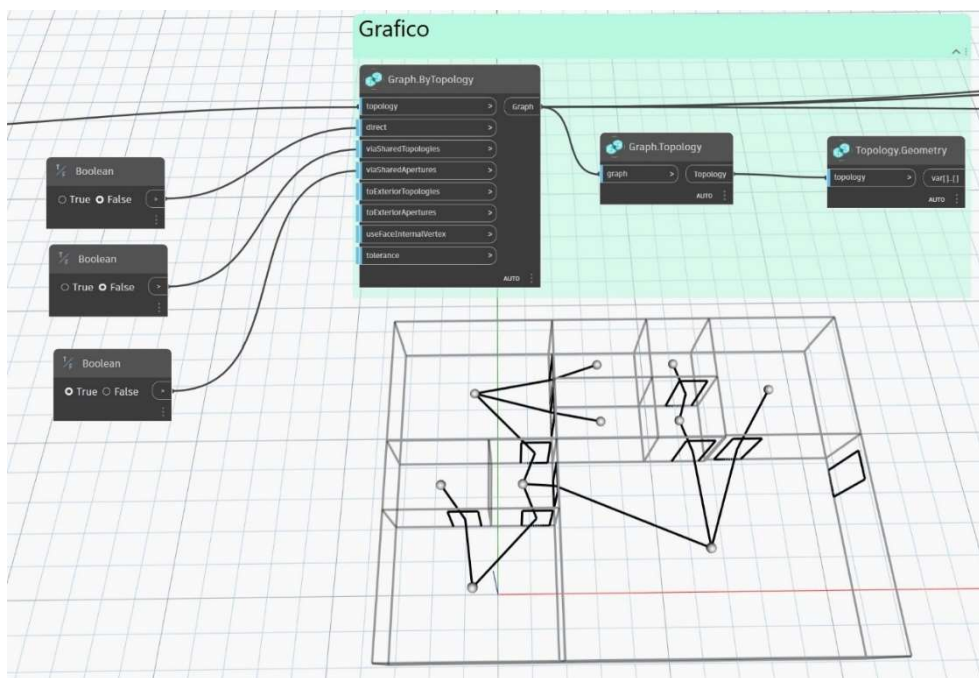


Fig. 61 – Grafo *viaSharedApertures*

Il risultato di questa ultima impostazione sarà quindi la rappresentazione grafica dei centroidi dei locali, collegati tra loro da *edges*, nel caso in cui esista un elemento di accessibilità tra loro.

Questo esempio permette la creazione puntuale della mappatura di un qualsiasi edificio, in cui ogni *edge* definisce l'esistenza reale di un passaggio al suo interno.

Elaborazioni avanzate del modello topologico

Come visto nel capitolo precedente, questo tipo di mappatura in cui viene messa in luce l'accessibilità dei locali è fondamentale per la sua successiva elaborazione e per lo sviluppo di analisi più complesse sull'edificio.

Prima di affrontare un esempio di applicazione pratica, è utile comprendere se nel campo della ricerca Topologic sia stato utilizzato ed ampliato per utilizzi più elaborati.

Topologic non è ancora uno strumento utilizzato largamente dai professionisti, quindi la maggior parte delle pubblicazioni vengono dagli sviluppatori stessi del pacchetto, con il fine di mettere in luce l'utilizzo che può esserne fatto. Le pubblicazioni sono principalmente trascrizioni di conferenze, paper oppure video in cui Wassim Jabi viene invitato a presentarne gli utilizzi e a mostrare esempi applicativi.

Prima di trattare le pubblicazioni, nel sito di Topologic vengono messi a disposizione alcuni documenti che permettono una maggior comprensione pratica di cosa può essere realizzato con questo pacchetto.

In uno di questi viene presentata la trattazione pratica dei nodi geometrici di trasformazione da *manifold*

a *non-manifold*, mentre in un altro vengono utilizzate le prime definizioni topologiche per l'analisi di adiacenze tra gli ambienti (Cardiff University 2019a; 2019b).

Sono stati citati questi documenti in quanto rappresentano una delle poche presentazioni pratiche di utilizzo del pacchetto, spesso messo in luce per le sue potenzialità ma scarsamente supportato da materiale in grado di spiegare i procedimenti per la relativa realizzazione.

Nel video (YourDesk University and Wassim Jabi 2021), il creatore di Topologic spende gran parte del tempo nella presentazione delle funzioni realizzabili con i soli nodi del pacchetto e nella spiegazione dei concetti da cui nasce il lavoro. Attraverso la trasformazione delle geometrie *manifold* in *non-manifold*, l'utente è in grado di compiere simulazioni legate alla navigazione all'interno dell'edificio, integrando le funzioni di *Graph Theory* con la ricerca di tutti i percorsi e l'analisi di quelli migliori in termini di tempo e lunghezza.

La forza di Topologic risiede nella possibilità di realizzare dei modelli topologici che rispettino le richieste di *input* di altri pacchetti per la realizzazione di simulazioni ancora più complesse.

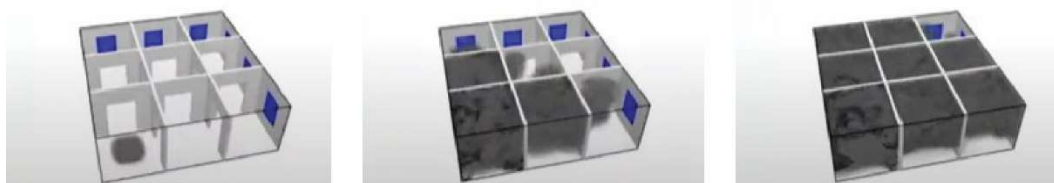


Fig. 62 - Simulazione della propagazione del fumo tra i locali (YourDesk University and Wassim Jabi 2021)

Nel campo della sicurezza, viene mostrata la simulazione della propagazione del fumo attraverso le stanze che compongono il piano di un edificio e il suggerimento del percorso più sicuro verso l'uscita di emergenza in base al locale da cui proviene il pericolo. Le simulazioni sono state rese possibili grazie al software FDS (*Fire Dynamics Simulation*).

In termini di risultati, ci si trova di fronte ad uno strumento che può diventare centrale per la sicurezza all'interno di edifici pubblici.

Alla pubblicazione si aggiunge (Jabi et al. 2019), più recente e che ha come argomento principale ancora la simulazione della propagazione di un pericolo all'interno di un edificio. In questo caso, si vuole trovare uno strumento in grado di simulare la propagazione del fuoco tra i locali, con la grande differenza che qui il modello che viene utilizzato non si sviluppa su un piano unico, ma su più piani.

Il procedimento prevede la trasformazione dell'edificio in modello concettuale e la ricerca dei centroidi di ogni locale, con la successiva applicazione di un algoritmo di *Reinforcement Learning* che permette l'assegnazione delle temperature all'interno dei vari locali. Utilizzando una temperatura maggiore nel locale da cui proviene il fuoco, viene realizzata la simulazione della propagazione di questo nell'edificio.

Il risultato è un modello concettuale di facile lettura ed interpretazione che, se integrato con uno studio dei percorsi, può risultare efficace per la ricerca della via di fuga più sicura.

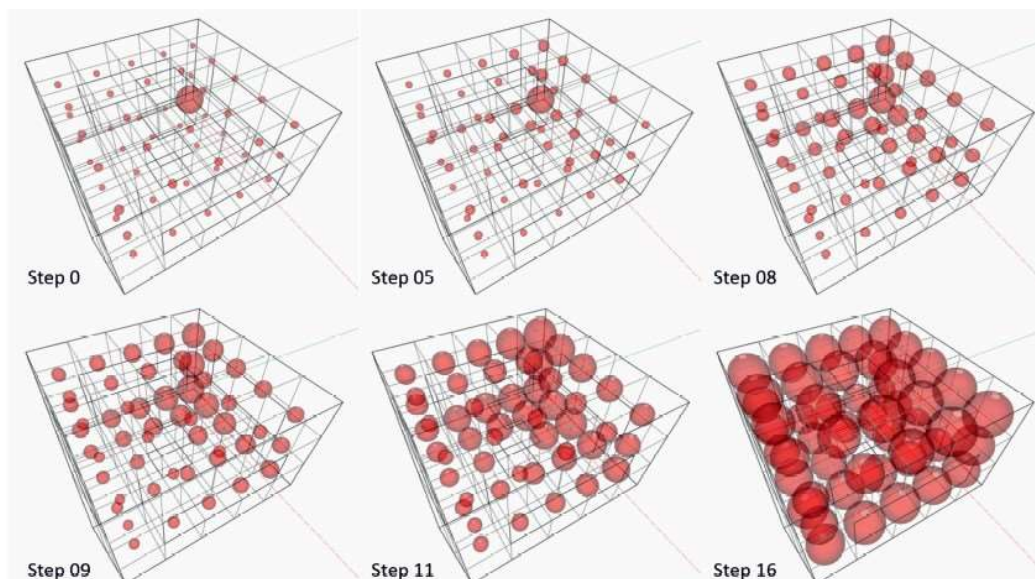


Fig. 63 - Simulazione della propagazione di un incendio in un edificio (Jabi et al. 2019)

Nella pubblicazione (Jabi and Chatzivasileiadi 2021) vengono presentati alcuni temi di diverso tipo che possono essere sviluppati tramite Topologic. Gli elaborati grafici mostrano come tramite questo pacchetto possano essere realizzate analisi inerenti allo *Spatial Reasoning*, ossia la ricerca della forma ottimale dell'organizzazione della pianta (Fig. 64).

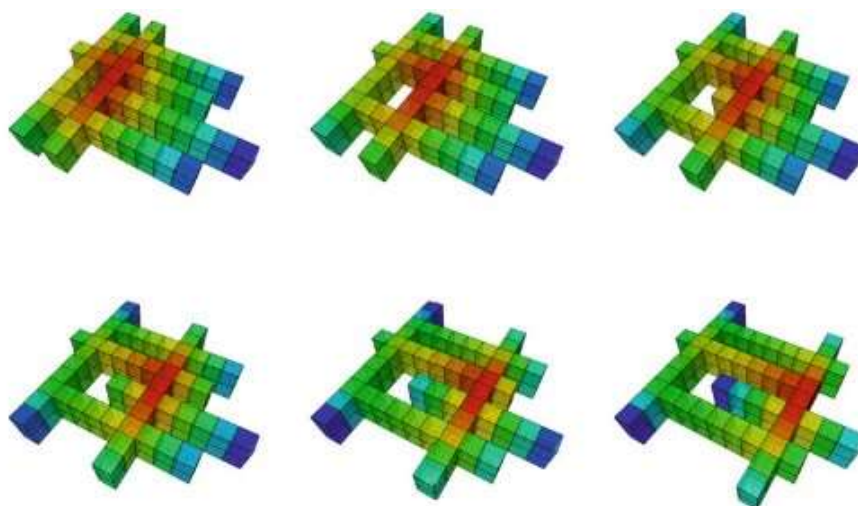


Fig. 64 - *Spatial Reasoning* attraverso lo studio delle adiacenze (Jabi and Chatzivasileiadi 2021)

Attraverso analisi che mettono in luce proprietà di adiacenza tra gli spazi ed il loro collegamento, si può ottenere un modello concettuale valido per prendere decisioni legate all'organizzazione degli spazi in pianta e nella dimensione tridimensionale.

All'interno del lavoro, viene anche presentata la tematica legata ai percorsi all'interno di un edificio. In particolare, un compito che viene presentato è la ricerca del percorso minore tra due ambienti contenuti al suo interno. Il percorso fa riferimento ad un tracciato individuato attraverso il grafico che riporta la reale navigazione all'interno dell'edificio.

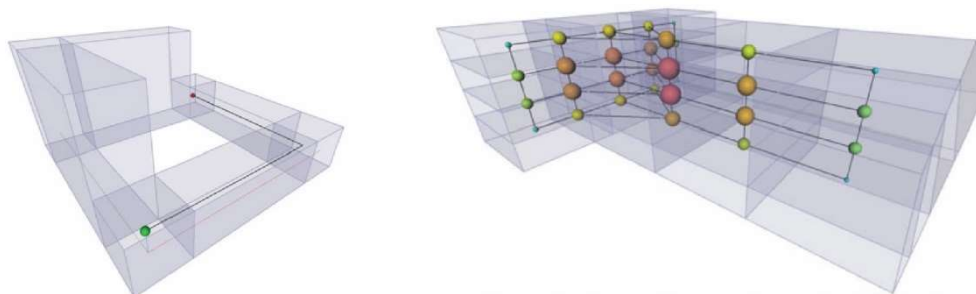


Fig. 65 - Analisi sui percorsi in un edificio (Jabi and Chatzivasileiadi 2021)

Questo lavoro era strutturato come un workshop, in cui utenti con formazioni differenti erano chiamati ad utilizzare per la prima volta Topologic. I risultati mostrano come gran parte dei partecipanti siano rimasti soddisfatti dalle sue funzionalità e ritengono che questo possa diventare uno strumento di grande utilizzo in un futuro non troppo lontano.

Grazie a Topologic, è possibile anche la creazione di un modello topologico che successivamente può venire utilizzato per le analisi di tipo energetico.

Sempre all'interno dei documenti messi a disposizione dagli sviluppatori, è possibile trovare (Cardiff University 2019c), in cui è presente il procedimento pratico per la realizzazione della simulazione. Questa viene realizzata grazie ad *OpenStudio* e con l'inserimento di alcuni dati relativi al sito in cui si localizza l'edificio.

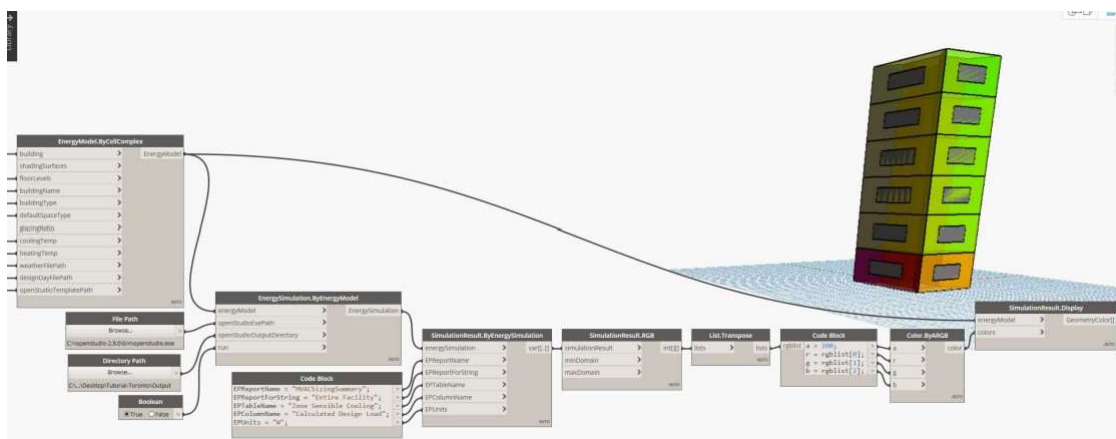


Fig. 66 - Interfaccia di Dynamo per un'analisi energetica (Cardiff University 2019c)

Essendo Topologic uno strumento nuovo, è stata di grande supporto la giornaliera osservazione delle pubblicazioni e degli aggiornamenti che gli sviluppatori rendevano pubblici attraverso i loro canali social. Oltre ai loro lavori a cui si è già accennato, ne venivano ripresentati altri realizzati da terzi attraverso i mezzi che mettevano a disposizione e la creazione di un vero e proprio Forum per la condivisione delle informazioni e l'aiuto per la realizzazione dei codici.

Applicazioni pratiche

Quest'ultimo capitolo vuole essere una guida pratica per l'utilizzo di Topologic, volta all'applicazione concreta di tutti i concetti che sono stati presentati fino ad ora. In particolare, si vuole porre l'attenzione su come la *Graph Theory* entri all'interno del procedimento BIM, come strumento efficace ed efficiente nel campo delle simulazioni sulle dinamiche di spostamento all'interno di un edificio. L'obiettivo è quello di ottenere una rappresentazione concettuale chiara e funzionale dei collegamenti al suo interno e una loro elaborazione per la sua ispezione.

Inoltre, quest'ultima parte vuole essere un supporto pratico a tutti gli utenti che si avvicinano a Topologic, per integrare la bibliografia già presente in cui non sempre i procedimenti sono chiari o sono dati per scontati. Il lavoro che verrà presentato è infatti frutto della raccolta di esempi presentati in *papers*, video di presentazione e tutorial messi a disposizione dagli sviluppatori e da terzi, con una grande componente di lavoro individuale che va ad inserirsi nelle lacune lasciate da questi.

Inizialmente, verrà presentato il procedimento di mappatura per un edificio che si sviluppa su un unico piano e successivamente verranno trattati dei casi particolari che si trovano facilmente in architettura.

In seguito, verrà preso in considerazione un edificio più complesso, su cui verrà applicato lo script di mappatura e su cui, successivamente, saranno svolte alcune elaborazioni ed analisi funzionali per comprenderne le dinamiche di sicurezza e spostamento.

Processo di mappatura di un edificio

In corrispondenza di ogni paragrafo viene riportato, tramite l'utilizzo di lettere, se il procedimento illustrato viene realizzato in Revit (R), oppure se i nodi utilizzati appartengono alla libreria di Dynamo (R) o Topologic (T).

1. Individuazione dei locali (R)

Il procedimento inizia in Revit, con la creazione del modello BIM in tutte le sue parti geometriche costituenti. Il punto focale diventa l'individuazione degli ambienti che compongono l'edificio e l'utilizzo della funzione *locale* per crearne un abaco.

In base alla precisione e all'eshaustività nell'assegnazione degli attributi, i locali hanno un contenuto informativo maggiore che permette la migliore ispezione successiva in Dynamo.

2. Importazione dei contorni geometrici (D) – Fig. 67

È possibile quindi spostarsi nell'ambiente di lavoro di Dynamo.

Il primo passo è il riconoscimento dei locali creati precedentemente e la trasformazione della funzione nominale di locale in un contorno geometrico che li definisce.

Questo viene realizzato tramite l'utilizzo di tre funzioni: *Categories* permette la selezione della categoria di elementi desiderati (nel caso specifico la categoria da selezionare sarà *Rooms*), *AllElementofCategory* permette la creazione di una lista in cui gli elementi sono tutti locali creati precedentemente nel modello BIM e infine *Room.CenterBoundary* riporta il loro contorno geometrico. Il risultato di questo procedimento è una lista di *lines* suddivise in sottoliste, che le dividono in base alla loro appartenenza ai diversi locali.

A questo punto è possibile iniziare a lavorare con il pacchetto Topologic.

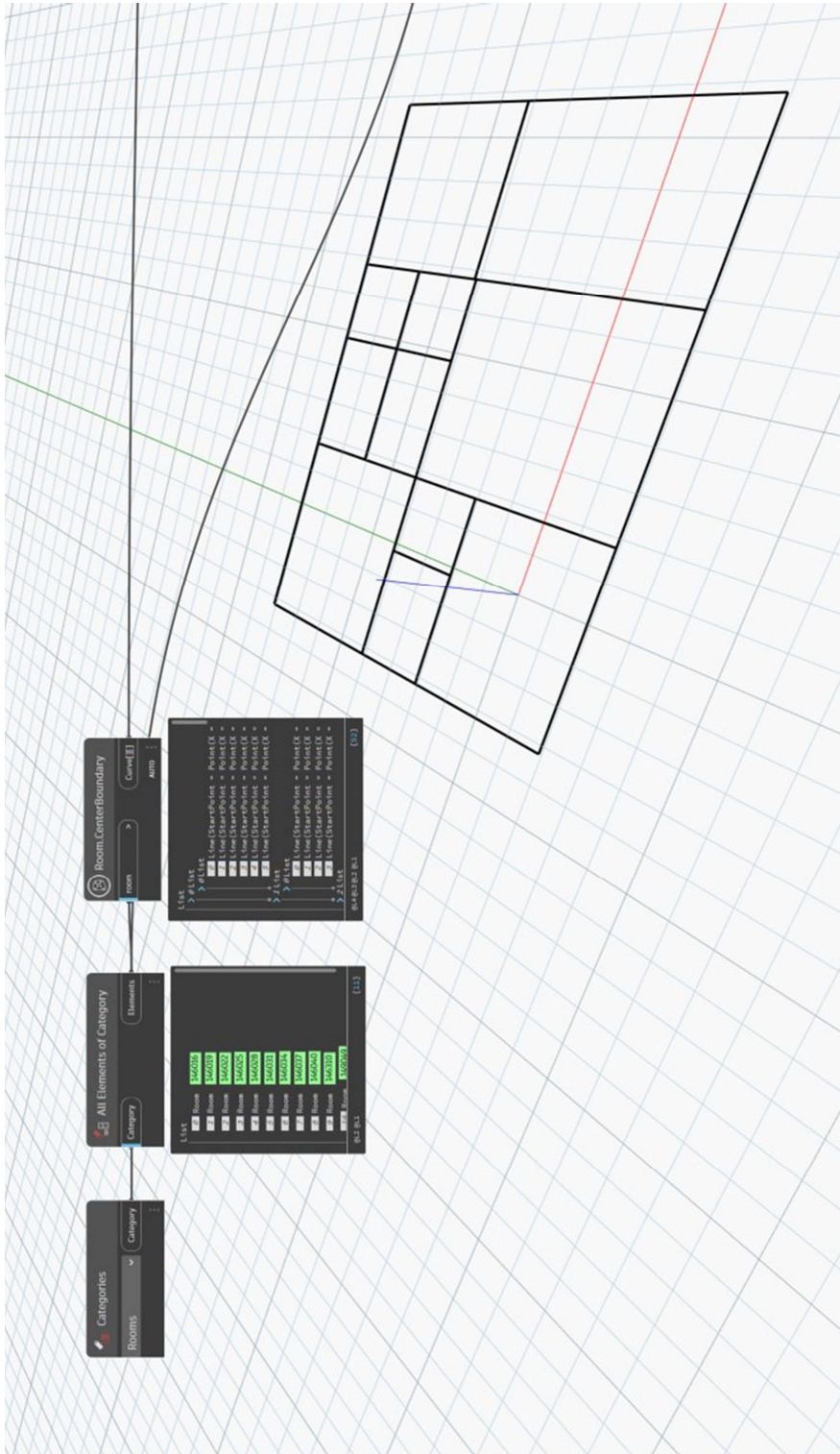


Fig. 67 - Procedimento di mappatura, estrazione dei contorni geometrici dei locali (1-2)

3. Conversione del perimetro dei locali in topologia (T) – Fig. 68

Come primo passaggio, come sottolineato anche nel capitolo precedente, è necessaria la trasformazione da elemento geometrico a elemento topologico grazie al nodo *Topology.ByGeometry*. Le *lines* che erano risultate come output dai nodi precedenti vengono trasformate in *edges*.

Questi vengono successivamente assemblati tra loro grazie alla funzione *Wire.ByEdges* per creare polilinee che definiscono ogni locale.

4. Creazione dei volumi relativi ai locali (T-D) – Fig. 68

Fino a questo momento si è lavorato dal punto di vista bidimensionale, ma grazie al nodo *TopologyUtility.Translate* è possibile sviluppare i locali anche nella direzione z.

Come input relativo all'altezza desiderata viene utilizzato il nodo *Room.Height*, che estrae in modo puntuale le altezze di tutti i locali.

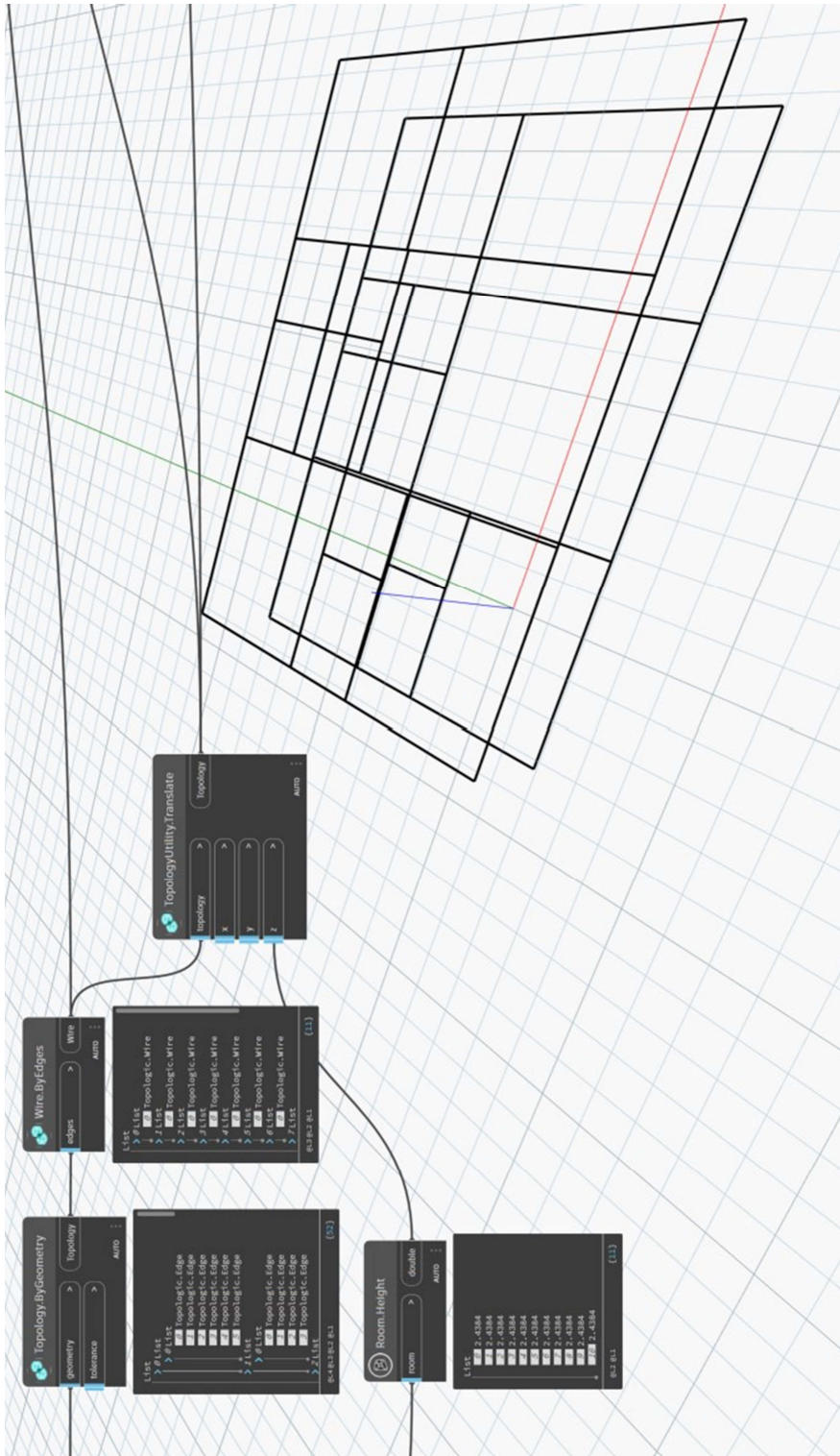


Fig. 68 - Procedimento di mappatura, creazione dei volumi relativi ai locali (3-4)

5. Elaborazione delle liste ottenute (D) – Fig. 69

È necessario un lavoro sugli output ottenuti nei passaggi precedenti tramite l'utilizzo di una serie di funzioni sulle liste.

Inizialmente, viene utilizzato *List.Create* per ottenere una lista unica che contenga la prima lista di *wires* creati inizialmente e che definiscono il contorno dei locali a livello 0 e la seconda lista che contiene quelli che sono stati creati tramite la funzione *TopologyUtility.Translate* per la definizione delle varie altezze dei locali. Questi due gruppi di *wires* vengono organizzati nella nuova lista come due sottoliste separate, che al loro interno presentano ulteriori sottoliste contenenti i *wires* suddivisi in base al locale di appartenenza. Tramite il nodo *List.Flatten* vengono eliminate le sottoliste di appartenenza ai locali, ottenendo due sottoliste contenenti tutti i *wires*, sempre suddivisi in base all'altezza del loro piano di riferimento. Successivamente, tramite il nodo *List.Transpose*, le due sottoliste vengono elaborate in modo tale che vengano a crearsi tante sottoliste quanti sono i locali esistenti, contenenti ognuna una coppia di *wires* che ne definiscono il perimetro a livello 0 e quello dell'altezza.

6. Creazione del CellComplex (T) – Fig. 69

Il lavoro di elaborazione delle liste è stato necessario per realizzare delle sottoliste specifiche per ogni locale, per dare quindi la possibilità di avere gli elementi pronti per realizzare ogni cella. Questo viene realizzato tramite il nodo *CellUtility.ByLoft*, realizzando quindi il primo modello concettuale tramite tutti i volumi. Successivamente, viene utilizzato il nodo *CellComplex.ByCells* per ottenere l'input necessario per il nodo per la *GT*.

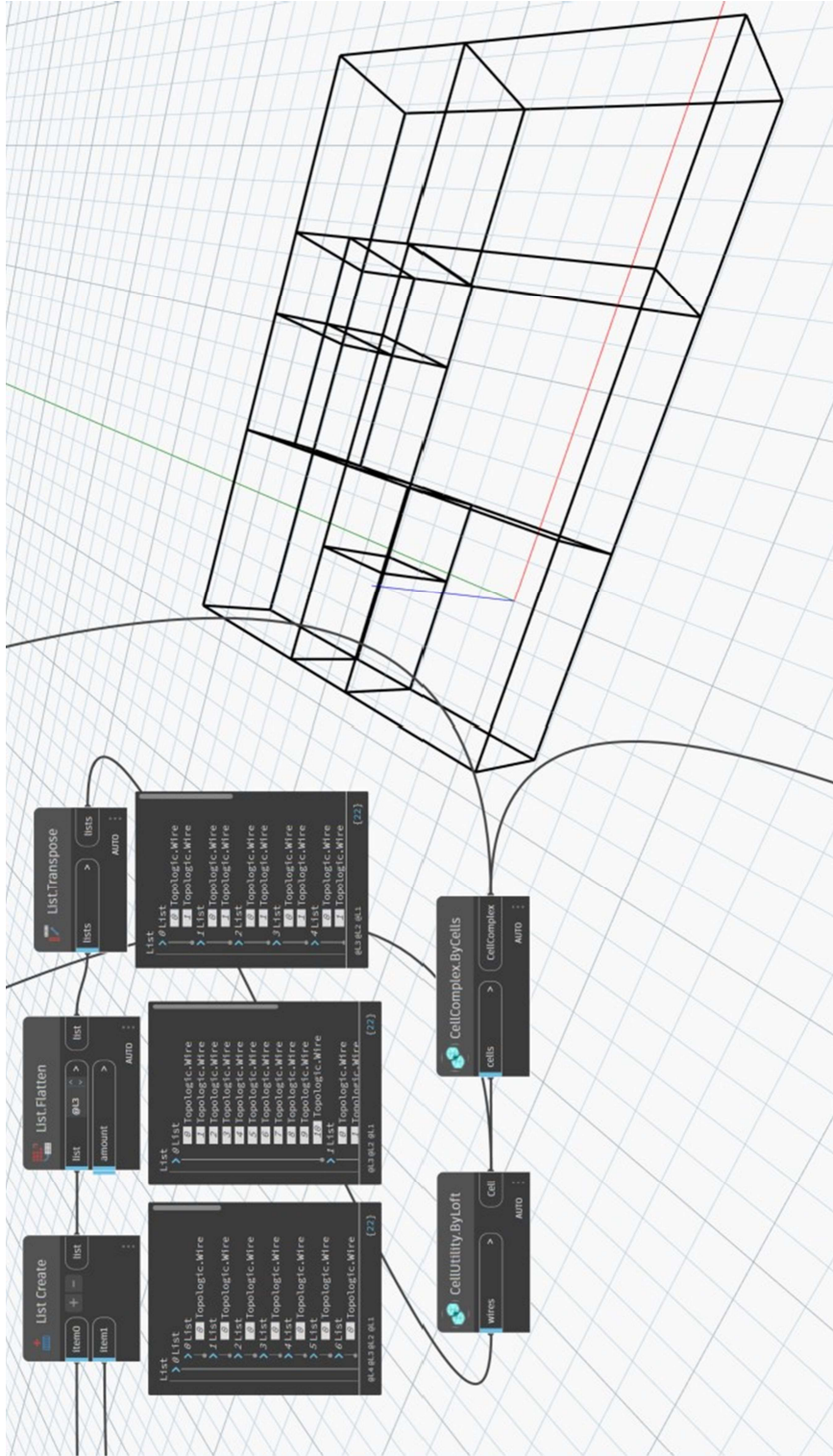


Fig. 69 - Procedimento di mappatura, creazione del *CellComplex* (5-6)

7. Conversione del perimetro delle porte in topologia (D-R-T) – Fig. 70

Per compiere questo passaggio vengono utilizzate principalmente funzioni di Dynamo e, solamente nella fase finale, la forma geometrica che viene realizzata viene convertita in topologia.

Tramite i nodi *Categories* e *AllElementofCategory* viene realizzata una lista composta da tutte le porte esistenti all'interno del modello BIM e successivamente, tramite il nodo *FamilyInstance.Location*, viene identificato il loro punto di posizionamento. Per estrarre l'orientamento della muratura in cui la porta si inserisce viene utilizzato il nodo *FamilyInstance.FacingOrientation*. Questo, insieme ai punti di posizione, viene utilizzato per individuare un piano grazie al nodo *Plane.ByOriginNormal*, su cui geometricamente sarà costruito il perimetro della porta.

Essendo una rappresentazione concettuale, non sarà necessario riportare in maniera puntuale la geometria della porta, ma verrà costruita con il nodo *Rectangle.ByWidthLength* un'apertura generica di dimensioni arbitrarie.

Le geometrie che sono state create dovranno quindi essere convertite in topologia grazie al nodo *Topology.ByGeometry*.

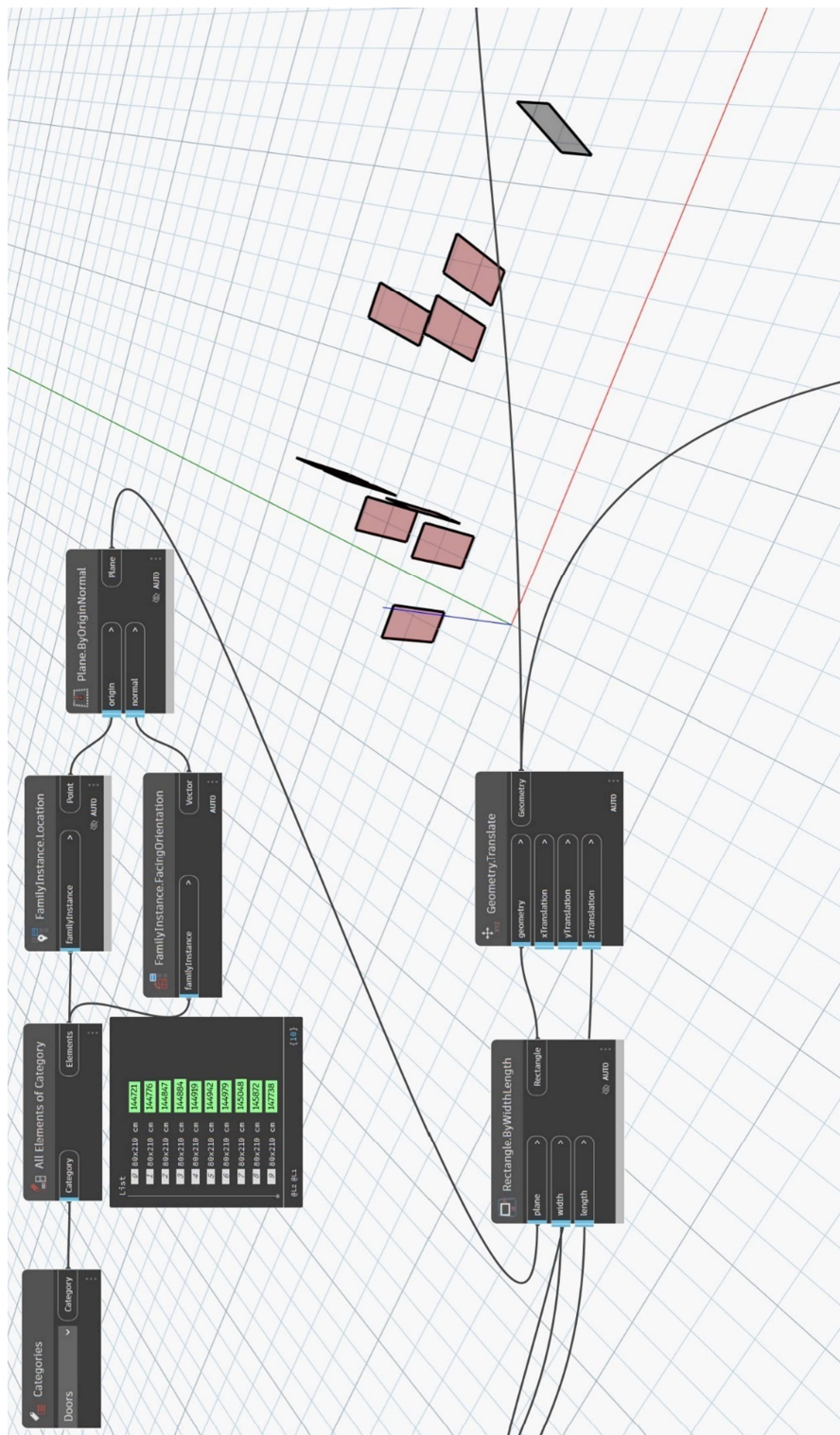


Fig. 70 - Procedimento di mappatura, estrazione delle aperture (7)

8. Creazione del nuovo *CellComplex* con le aperture (T) – Fig. 71

Dai passaggi precedenti si sono ottenuti i due input necessari per procedere con lo script: il *CellComplex*, che definisce il contorno geometrico e concettuale dell'edificio come somma di tutte le celle relative ai locali, e le aperture, che rappresentano la loro accessibilità reale.

Tramite il nodo *Topology.AddAperture* è possibile inserire le aperture all'interno del *CellComplex*, rendendo i due input un elemento topologico unitario, pronto per essere utilizzato per la creazione del grafo.

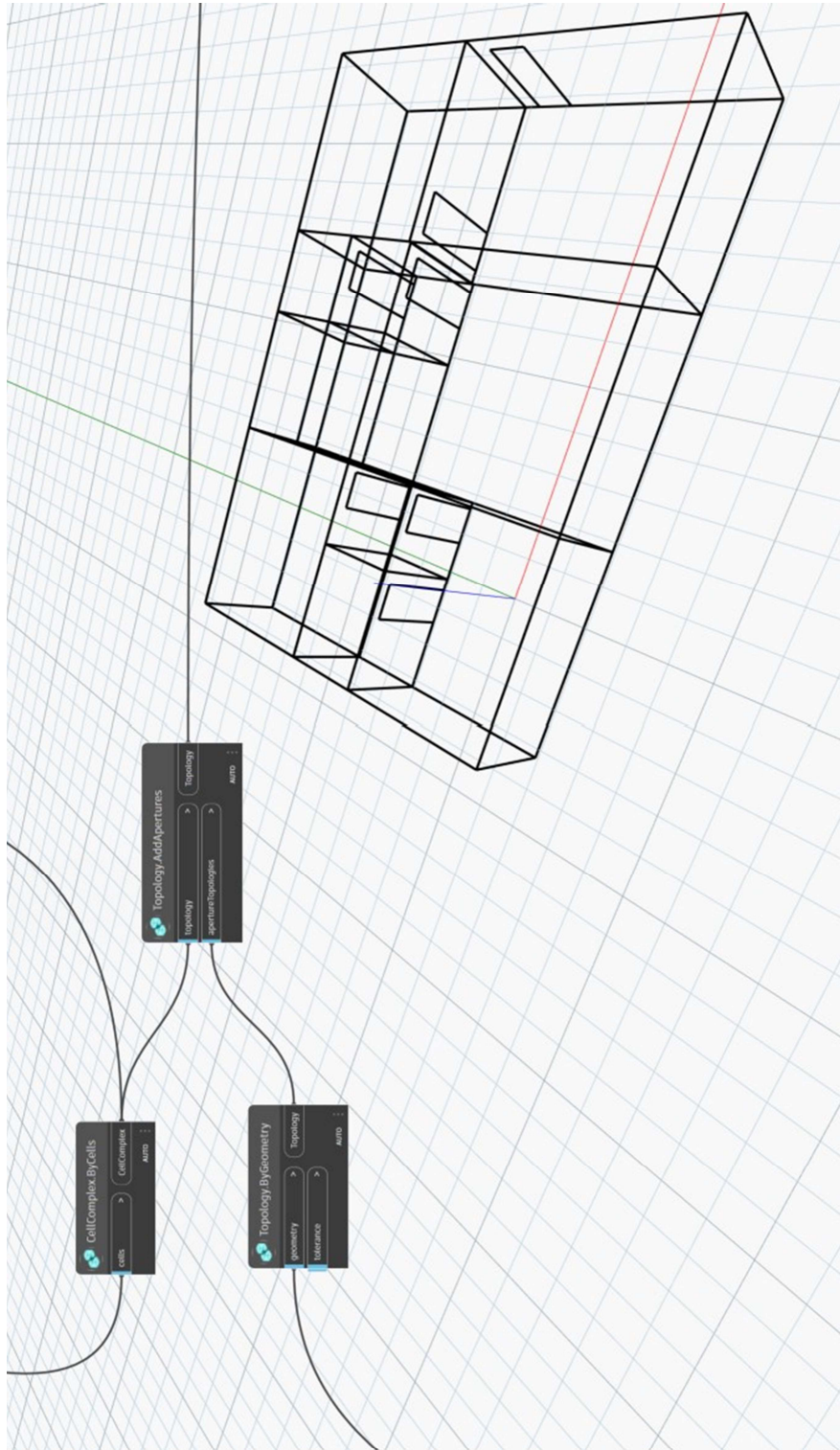


Fig. 71 - Procedimento di mappatura, creazione del *CellComplex* con le aperture (8)

9. Creazione del grafo finale (T) - Fig. 72

Fino ad ora, il lavoro svolto era volto alla creazione dell'input ottimale per poter applicare la funzione di *GT* nel modello proveniente dal modello BIM.

Come visto in precedenza, il nodo da applicare per la creazione del grafo prende il nome di *Graph.byTopology*. Questo richiede la topologia che è stata creata nel passaggio precedente, quindi il *CellComplex* dotato di aperture, e una serie di nodi *Boolean* per indicare il tipo di grafo che deve essere creato dal nodo. Per ottenere la mappatura che tiene conto della reale accessibilità degli ambienti, bisogna indicare con *true* l'impostazione che prende il nome di *viaSharedApertures*, come visto anche nel capitolo precedente.

Il nodo restituirà un *Graph* che per essere visualizzato dovrà essere elaborato tramite il nodo *Graph.Topology*, che lo converte in Cluster composto da un gruppo di *edges* (le linee di collegamento) e *vertices* (i punti dei centroidi e del passaggio attraverso le porte). Per rendere visibile il risultato ottenuto, bisogna trasformare l'elemento topologico in elemento geometrico tramite il nodo *Topology.Geometry*.

Sono possibili elaborazioni dello script per la diversa visualizzazione estetica degli elementi, che in alcuni casi permette la lettura migliore dei risultati.

È così ottenuta la mappatura del modello sviluppato in Revit.

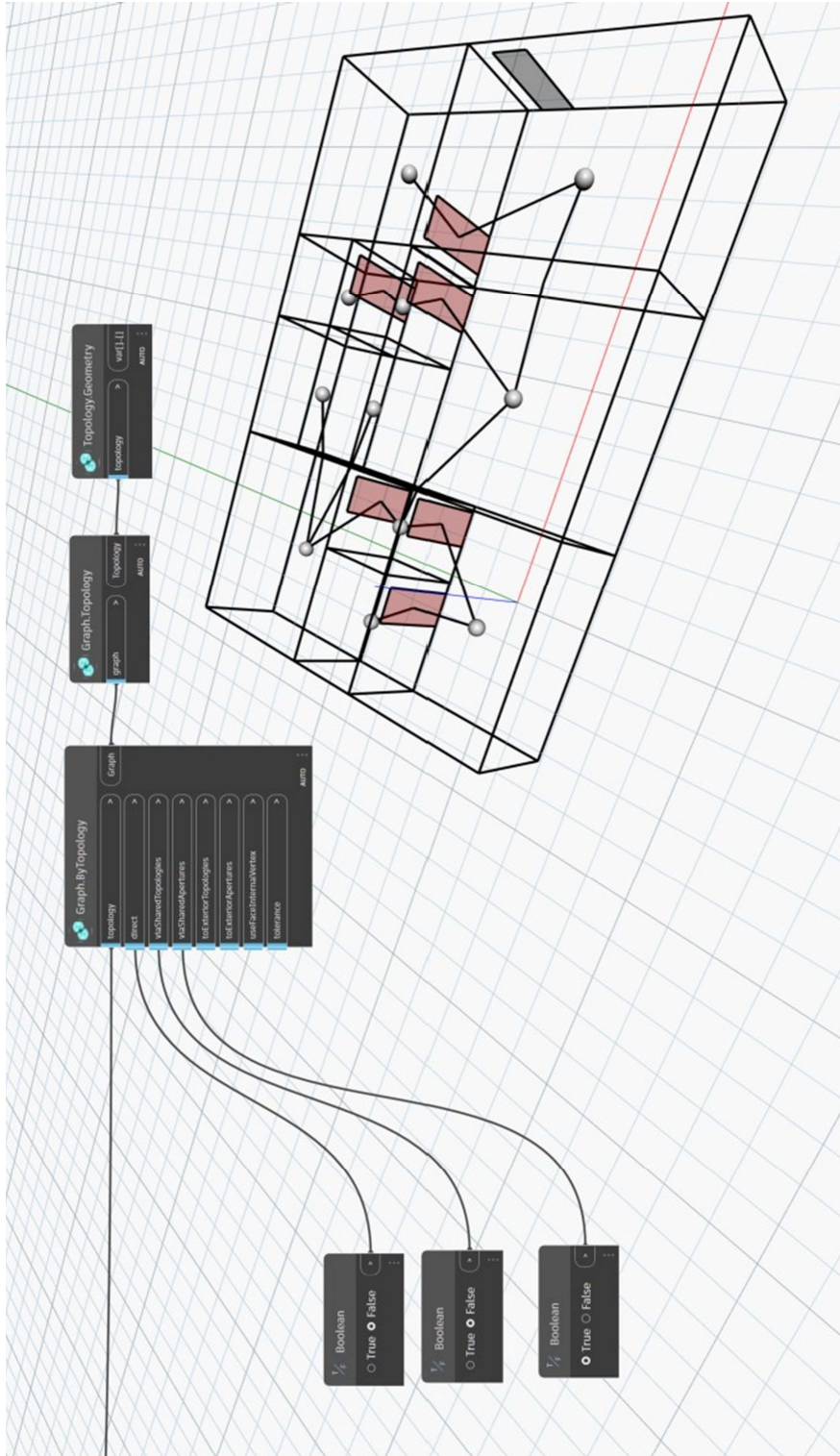


Fig. 72 - Procedimento di mappatura, creazione del grafo (9)

Casi particolari

Nel panorama degli edifici realizzabili, ci sono delle casistiche che escono dal modello che è stato utilizzato nel paragrafo precedente. Non è infatti inusuale trovarne con uno sviluppo su più piani o con caratteristiche geometriche che renderebbero lo script presentato poco preciso.

Vengono quindi trattati dei casi particolari, fornendo delle soluzioni che sono facilmente sostituibili o risolvibili tramite procedimenti differenti, sviluppati in un primo momento su modelli realizzati in maniera mirata rispetto al problema e, in seguito, utilizzati in altri più complessi per verificarne l'effettivo funzionamento.

Esistenza di più locali in uno stesso ambiente

Come visto anche in uno dei capitoli precedenti, soprattutto negli ultimi anni si assiste sempre di più alla progettazione di ambienti, principalmente nella zona giorno, che prevedono la coesistenza di destinazioni differenti all'interno della stessa stanza. Un esempio è la soluzione ad *open space*, che prevede la creazione di una cucina che si affaccia nel soggiorno senza alcuna separazione muraria.

Il problema che sorge è quindi la creazione di una separazione fittizia all'interno del locale, che successivamente permetterà a Topologic di leggere l'ambiente come composto da due celle indipendenti e in collegamento tra loro all'interno di uno stesso perimetro murario.

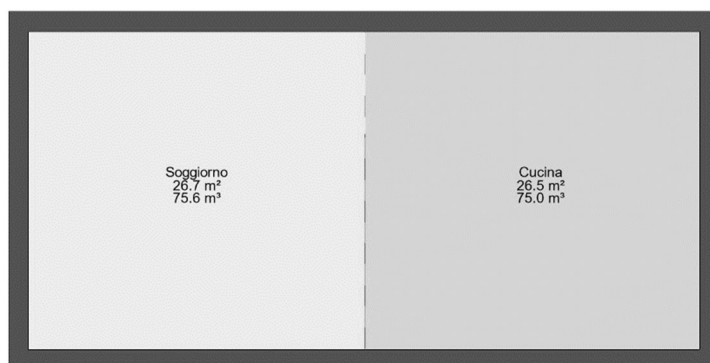


Fig. 73 - Esempio di due locali in uno stesso ambiente

La soluzione inizia nell'assegnazione dei locali in Revit, in cui l'ambiente che ospita i diversi ambienti dovrà essere diviso manualmente tramite la funzione *Separazione locale*, per dare la possibilità di inserire due locali distinti. Diventa necessario, quindi, trovare un modo per creare un'apertura su questa topologia appena creata senza l'esistenza reale di una porta.

Sarà quindi necessario l'utilizzo di un nodo che permetta l'estrazione delle linee di separazione appena create, per poi convertirle inizialmente in elementi geometrici e in un secondo momento in topologia di apertura. Un esempio di pacchetto che permette questo procedimento è *Clockwork*.

In questo modo, all'interno di un'unica cella verrà creata una divisione che nel modello BIM non corrisponde ad un elemento murario, ma solamente ad un cambio di destinazione in uno stesso ambiente.

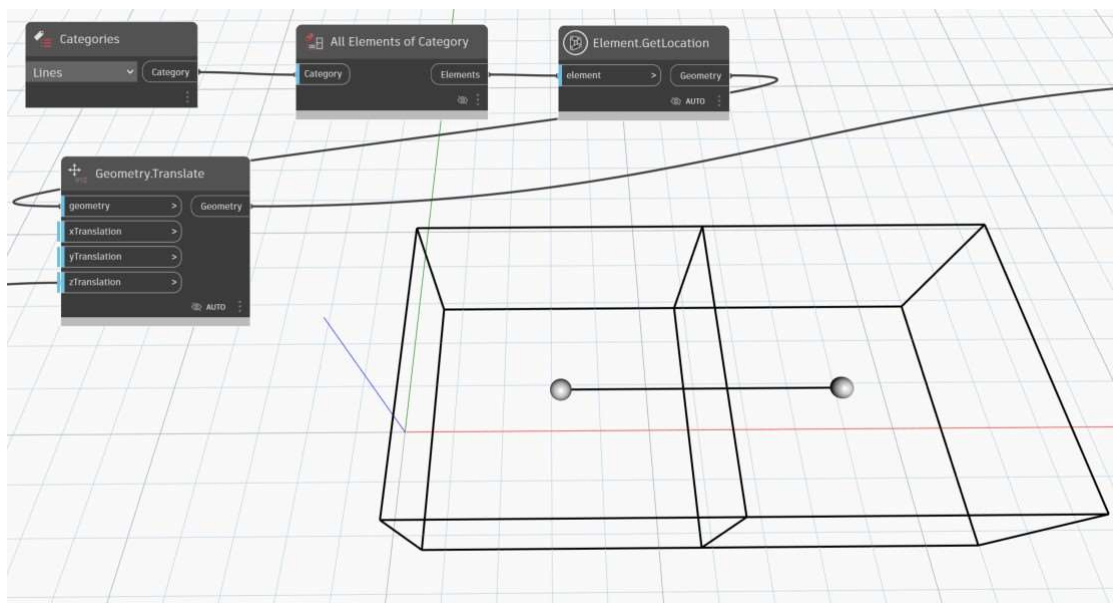


Fig. 74 - Risoluzione in Dynamo del caso in Fig. 73

Edifici dalla geometria complessa

Esistono alcuni edifici che presentano delle forme più complesse di altre e in particolare in questo paragrafo vogliono essere trattati i cosiddetti edifici a pianta concava.

La pianta concava, ricercando una definizione veloce e pratica, si definisce come una pianta che presenta all'interno del suo perimetro anche solo un angolo concavo (di ampiezza maggiore di 180°).

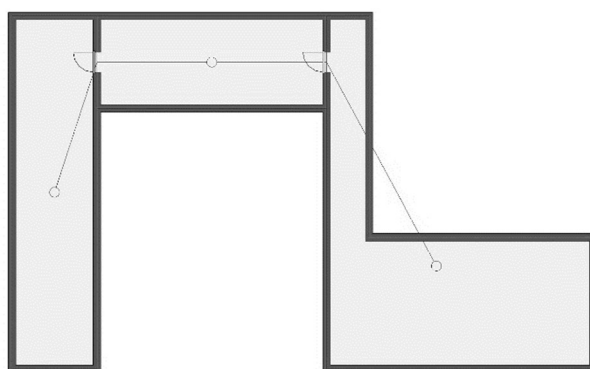


Fig. 75 - Esempio di pianta concava e percorso di collegamento tra i locali

Questa condizione geometrica potrebbe essere problematica per il funzionamento dello script, in quanto una condizione di concavità può prevedere la creazione di collegamenti realizzati esternamente rispetto al perimetro dell'edificio (il caso più diffuso è il taglio dell'angolo). I grafi realizzabili in Topologic infatti non sono vincolabili all'interno della geometria.

Il procedimento suggerito prevede la suddivisione del locale che presenta la condizione di concavità proprio in prossimità dell'angolo interessato. Utilizzando il procedimento presentato nel paragrafo precedente, dovrà essere quindi creata la condizione di collegamento tra i due ambienti che vengono creati.

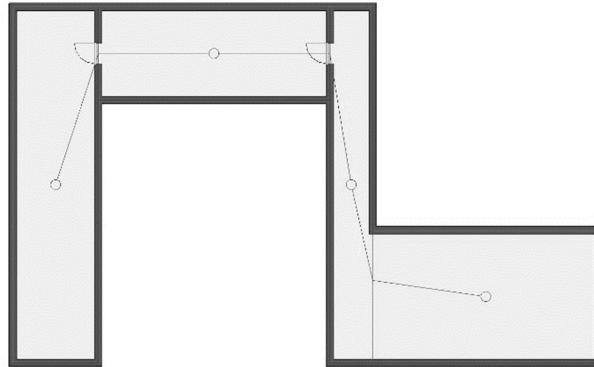


Fig. 76 – Correzione del percorso di collegamento tra i locali

La condizione sfavorevole è quindi facilmente risolvibile con alcuni passaggi elementari.

Edifici con più piani

Nella maggior parte dei casi, gli edifici presentano uno sviluppo su più livelli.

La trattazione dei vani scale e dei vani ascensore non può essere quella utilizzata per i locali normali.

Vengono quindi presentati due metodi per la trattazione geometrica e topologica delle due casistiche.

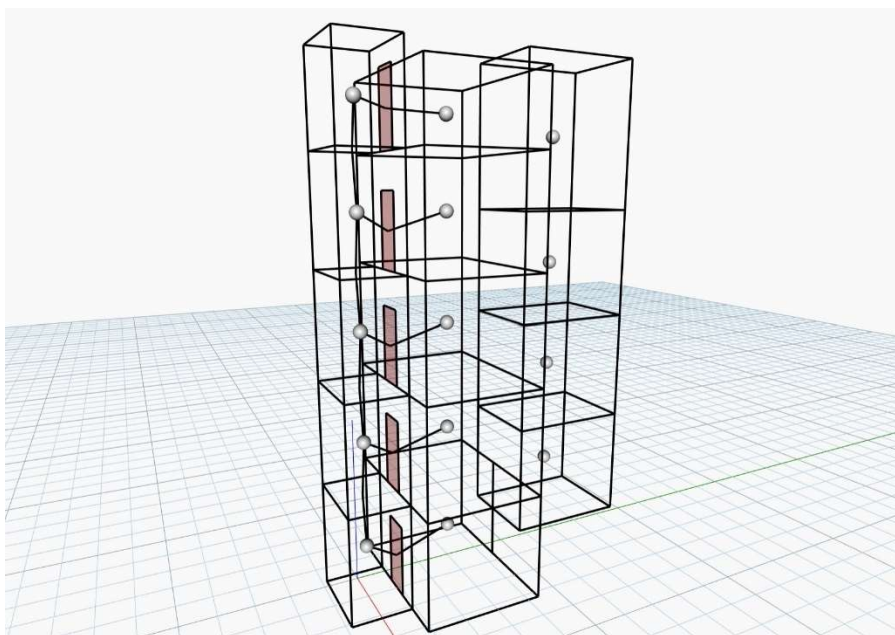


Fig. 77 - Esempio di collegamento tra vani ascensore

Il caso più semplice prevede la concettualizzazione dei vani ascensore. La soluzione, infatti, sta nella creazione di locali delimitati orizzontalmente dalle mura perimetrali del vano e verticalmente dall'altezza di interpiano. In questo modo, il solido globale del vano, che rappresenta l'intero tragitto realizzabile in ascensore, risulterà l'unione di tutti i solidi interpiano che sono stati realizzati.

Successivamente, sarà necessaria la creazione di un'apertura in corrispondenza di ogni piano di arrivo dell'ascensore, per renderne possibile il collegamento verticale nel grafico risultante.

La trattazione delle scale risulta più complessa, in quanto non è possibile la realizzazione di locali delimitati come nel caso precedente, perché il tipo di spostamento reale che prevede l'utilizzo delle scale non è verticale come quello dell'ascensore, ma inclinato. Geometricamente parlando, si vuole realizzare un solido che abbia come centroide un punto in posizione intermedia tra i due piani che vengono collegati dalla scala.

La casistica, però, si divide nuovamente: le scale possono essere a rampa unica (solitamente in ambito residenziale) oppure a rampa doppia con un pianerottolo intermedio (come nel caso delle scale anti incendio).

Nel caso a rampa singola, la soluzione è la creazione di un locale delimitato dalle dimensioni effettive della rampa e con un'altezza che ha come limite inferiore il piano del pianerottolo di partenza e come limite superiore l'altezza del locale di arrivo. In questo modo, il centroide del locale del vano scale sarà in posizione intermedia rispetto ai centroidi dei locali del piano inferiore e quelli del piano superiore, descrivendo una linea inclinata di collegamento tra i piani. E' sempre necessario creare un'apertura ad inizio rampa, per il collegamento con il locale precedente, e a fine rampa, per il collegamento con il locale d'arrivo, in quanto viene creata una separazione topologica.

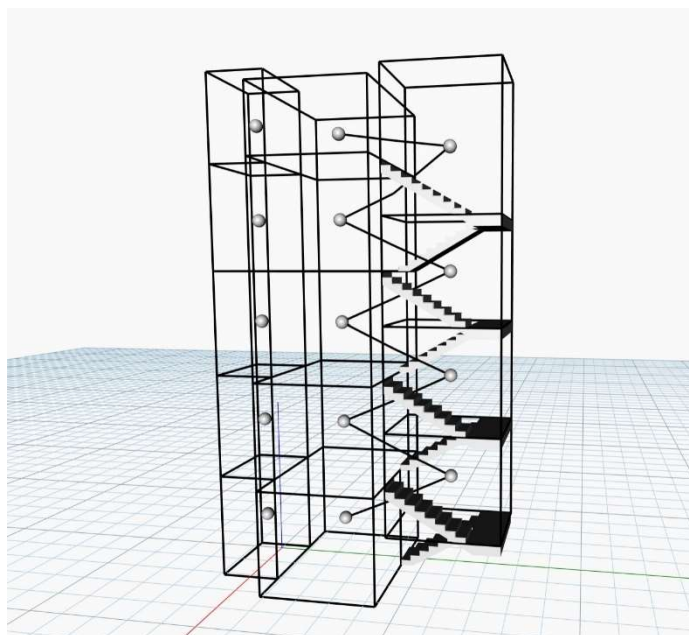


Fig. 78 - Esempio di collegamento tra scale

Nel caso, invece, di rampa doppia con pianerottolo la trattazione è differente. Sarà necessaria la creazione di un locale all'interno del vano scale, con una delimitazione orizzontale data dai muri perimetrali del vano oppure dai corrimano in caso di scala esterna, mentre una delimitazione verticale che ha come livello inferiore il piano del pianerottolo intermedio e come piano superiore il pianerottolo

successivo. In questo modo, il solido relativo al locale appena creato e il suo centroide saranno posizionati ad un'altezza intermedia tra i due piani collegati.

Creando quindi delle aperture in corrispondenza dei locali che la scala mette in collegamento, si ottiene il risultato desiderato.

La possibilità di creare un grafico che abbia un possibile sviluppo tridimensionale permette di ampliare il campo di applicazione di questo tipo di elaborazioni ad un numero di casi studio molto più elevato.

Edifici con locali privati

In alcuni edifici, principalmente in quelli pubblici, non tutti i locali hanno un'accessibilità concessa a tutte le persone che transitano al loro interno. Basti pensare ai locali tecnici o ai locali di sicurezza in un qualsiasi edificio oppure in ambito ospedaliero ai locali come sale operatorie o reparti non accessibili al pubblico. Questo parametro dovrà essere tenuto in considerazione rispetto ai percorsi che vengono presentati nel grafico. Nel caso in cui, infatti, lo script venga elaborato e utilizzato per la ricerca dei percorsi di fuga in caso di emergenza, i locali che non sono accessibili non dovranno essere considerati nel percorso risultante.

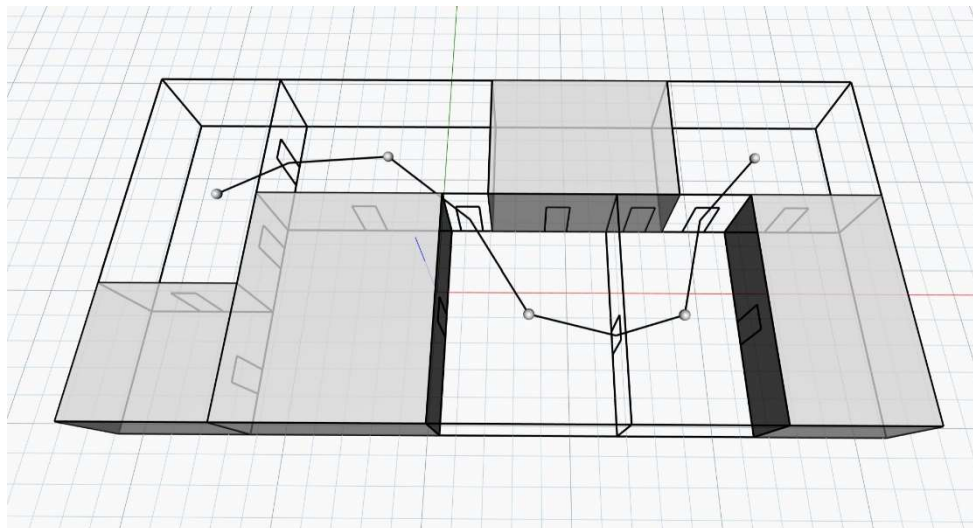


Fig. 79 - Ricerca dei percorsi nel caso di locali privati

In termini di adattamento dello script di mappatura rispetto a questa casistica, il lavoro deve iniziare durante l'assegnazione dei locali in Revit. Successivamente alla loro creazione, infatti, l'utente dovrà compilare anche l'attributo *Department* del locale per indicare se la sua destinazione sarà pubblica o privata. Questo semplice passaggio permette infatti in Dynamo, in fase preliminare, di filtrare i locali rispetto al loro tipo di destinazione e di creare un *CellComplex* composto solamente dai locali pubblici. In questo modo, si esclude in maniera totale l'appartenenza dei locali privati al processo di mappatura e di eventuale ricerca dei percorsi.

Elaborazione della mappatura

Come visto anche nei capitoli precedenti, il processo di mappatura e di estrazione dei percorsi all'interno di un edificio è solamente il punto di partenza per molte altre simulazioni.

In questo paragrafo, vogliono essere presentate le funzioni messe a disposizione da Topologic per studiare la navigazione tra i locali di un edificio.

Nella libreria di Topologic esistono due nodi che prendono il nome di *AllPaths* e *ShortestPath*. La loro funzione è facilmente intuibile: il primo permette infatti la ricerca di tutti i percorsi tra due vertici del grafico di mappatura, mentre il secondo riporta il loro collegamento più corto.

In un certo senso, il nodo che permette la ricerca del percorso più corto non è altro che l'analisi filtrata delle distanze che coprono tutti i percorsi tra due punti, con l'estrazione del minore di questi. In questo modo, il nodo *ShortestPath* è definibile come un'elaborazione del nodo *AllPaths*.

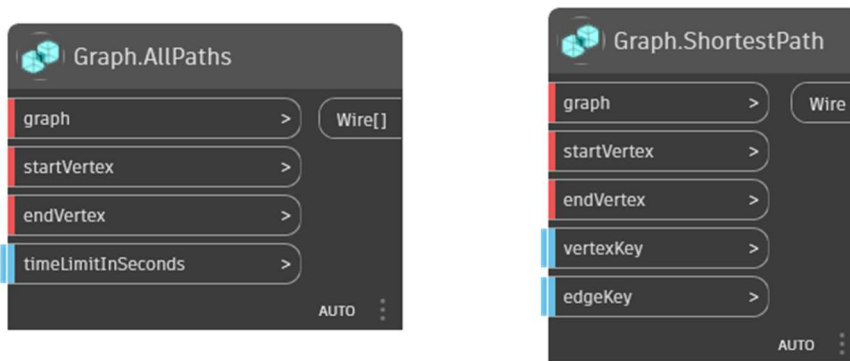


Fig. 80 – *Graph.AllPaths* e *Graph.ShortestPath*, nodi per l'elaborazione dei percorsi

I due nodi lavorano allo stesso modo e richiedono gli stessi input: *Graph* richiede l'inserimento del grafico di mappatura del *CellComplex* (la ricerca del percorso specifico infatti è solamente un filtraggio di tutti i percorsi all'interno dell'edificio), *startVertex* chiede il vertice di partenza del percorso e *endVertex* quello di fine. Il tipo di input è quindi una topologia, non si possono inserire come vertici di partenza e di arrivo due punti geometrici che non fanno parte dei *vertices* contenuti nel *graph* di mappatura utilizzato come input.

Queste funzioni, all'apparenza molto semplici ed intuitive, possono essere utilizzate per compiere delle simulazioni importanti per la definizione dei locali in un edificio, in particolare in quelli pubblici.

L'applicazione più semplice ed immediata consiste nella ricerca del percorso che una persona dovrebbe compiere per spostarsi all'interno di un edificio per raggiungere un locale. Il problema diventa quindi solamente di natura informativa (come nel caso di Google Maps presentato in un capitolo precedente).

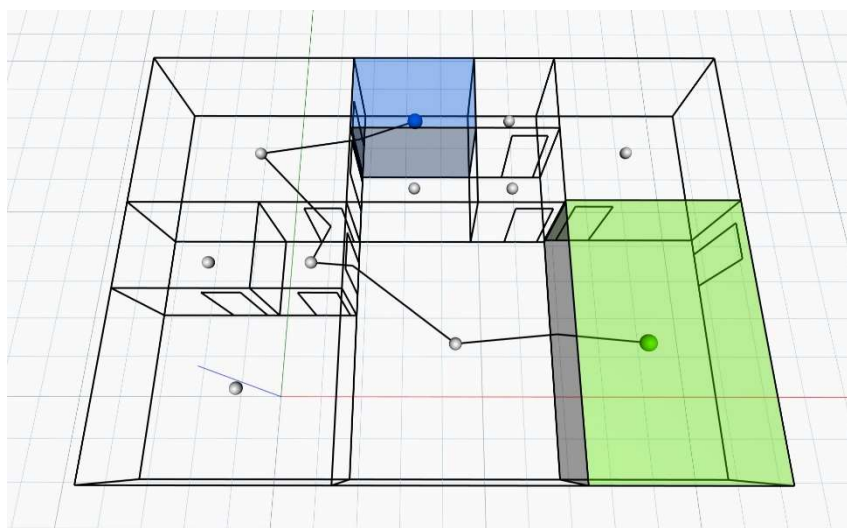


Fig. 81 - Esempio *Graph.ShortestPath* tra due locali

Uno studio di questo tipo può assumere un peso totalmente differente nel caso in cui si voglia applicare in un'ottica di ricerca delle vie di fuga nei casi di emergenza.

È infatti possibile impostare come input di *endVertex* i nodi in corrispondenza delle porte denominate come *Uscite di emergenza* in Revit, per evidenziare tutti i percorsi che portano dal locale in cui ci si trova a tutte le uscite di emergenza presenti nell'edificio. Attraverso una successiva elaborazione, di natura puramente matematica, che prevede l'analisi delle lunghezze degli edifici, è possibile trovare ed indicare l'uscita più vicina e quindi di più veloce raggiungimento.

La potenzialità di questo strumento, con alcuni aggiustamenti estetici diventa di migliore comprensione.

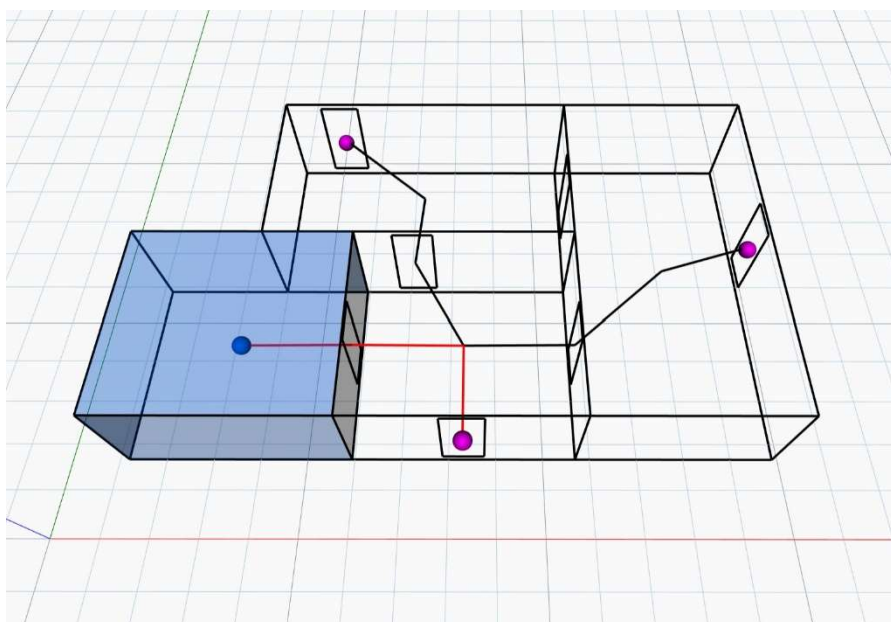


Fig. 82 - Esempio *Graph.ShortestPath* tra un locale e le uscite di emergenza

Il risultato che si può quindi ottenere è molto importante, perché permette la ricerca di tutti i percorsi possibili anche tridimensionalmente.

Un utilizzo di questo tipo va oltre alla sola potenzialità informativa dello script e potrebbe diventare una funzione molto importante se affiancata ed implementata da altri software che possono, ad esempio,

simulare la diffusione degli incendi, aggiungendo dei nuovi vincoli per il filtraggio dei percorsi possibili, oppure calcolare l'aumento di flusso di persone in stato emergenziale.

Caso studio

La scelta del caso studio è ricaduta su un modello realizzato durante il corso *Workshop of Architectural and Urban Design* nell'AA 2020/2021. Parte del corso prevedeva la progettazione di un centro universitario polifunzionale nell'area tra via Gradenigo e via Ognissanti a Padova. Oltre alla disciplina di gara, era stata anche fornita una documentazione contenente gli ambienti che dovevano essere realizzati all'interno dell'edificio e le relative volumetrie, per garantire la presenza sufficiente di aule, laboratori, uffici e spazi di aggregazione per gli utenti.

Il modello realizzato si presenta completo nel contenuto informativo; oltre alla rappresentazione geometrica dell'edificio (**Fig. 83**) sono presenti, infatti, anche quelle strutturale e impiantistica, oltre agli abachi associati alle famiglie contenute.

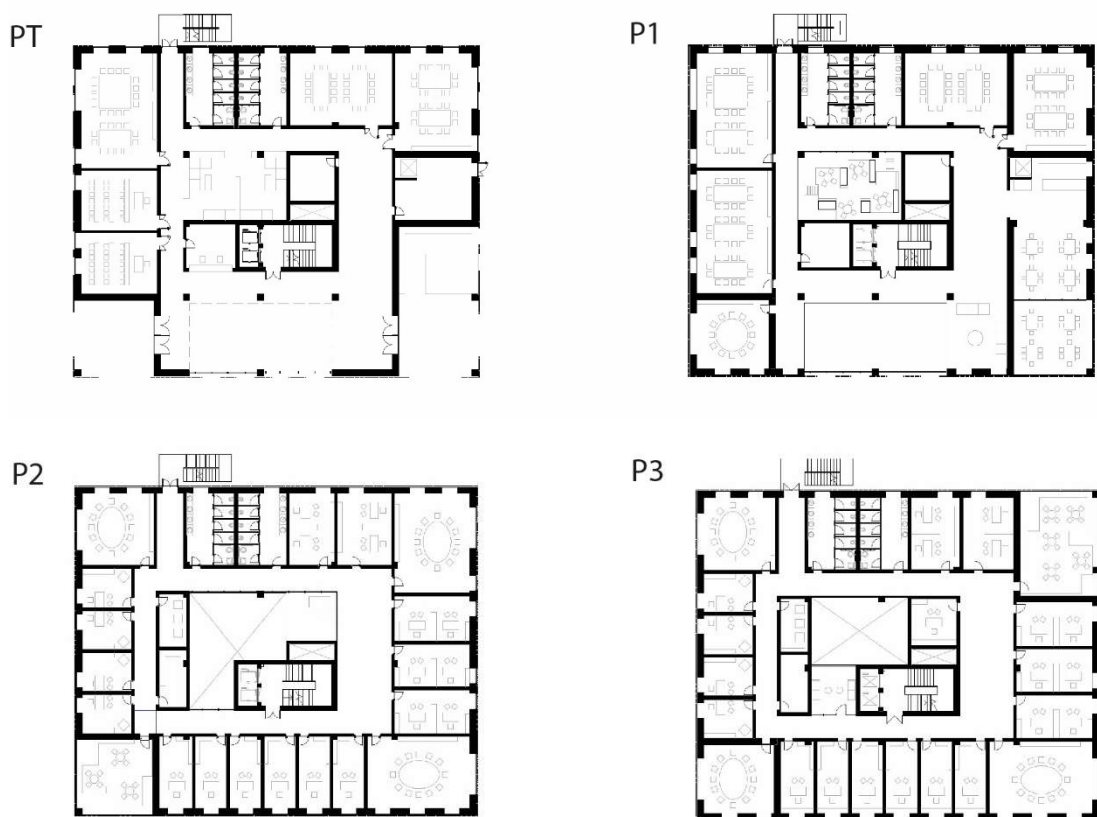


Fig. 83 – Pianta architettoniche, individuazione dei locali del caso studio

La scelta del caso studio è stata dettata dalla necessità di avere il modello BIM di un edificio pubblico completo in tutte le sue parti, per poter valutare l'efficacia degli script presentati precedentemente su un caso reale.

Come visto che nei capitoli precedenti, l'applicazione della *GT* permette ai progettisti di ispezionare il modello e in particolare valutare i percorsi che nascono al suo interno, per poi poter compiere ulteriori valutazioni di diversa natura, da quelle puramente informative di navigazione a quelle di valutazione delle vie di uscita in situazioni emergenziali.

L'utilizzo degli script permette una valutazione tridimensionale delle simulazioni compiute sul caso studio: verranno quindi presentati successivamente alcuni esempi di applicazioni in immagini che saranno il più possibile esplicative dei risultati ottenuti.

Mappatura dell'edificio

Come primo punto, e anche più importante per tutti i risultati che saranno ottenuti successivamente, si ottiene la mappatura del caso studio.

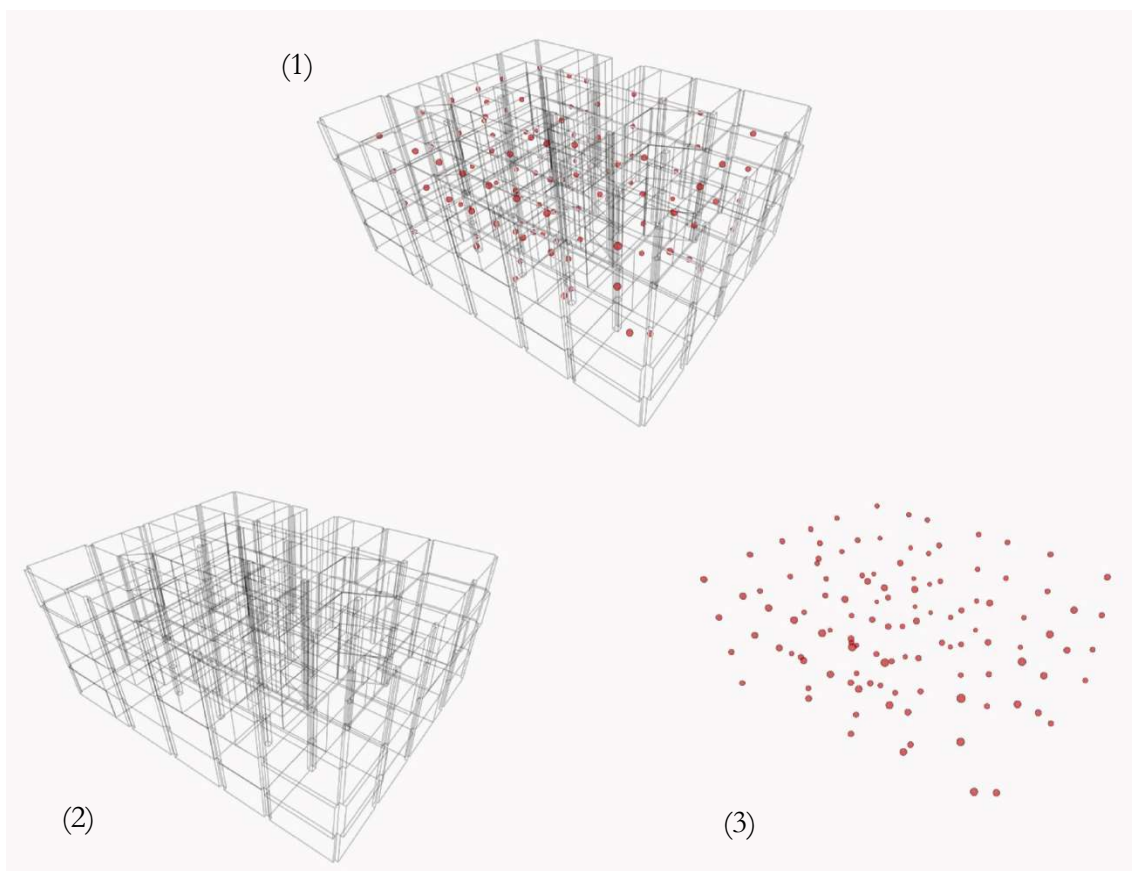


Fig. 84 – Risultati della mappatura del caso studio e scomposizione in *CellComplex* e centroidi

Attraverso i passaggi visti anche ad inizio capitolo, si è in grado di concettualizzare l'intero edificio (**Fig. 84_1**) trasformandolo in un *CellComplex*, composto da *Cells*, che rappresentano tutti i locali presenti al suo interno (**Fig. 84_2**). Questi sono riconoscibili tramite l'identificazione del loro centroidi (**Fig. 84_3**), mentre i percorsi attraverso semplici linee di collegamento tra due ambienti in comunicazione (**Fig. 85**). In termini di risultati, la sola mappatura non fornisce un elaborato grafico esaustivo, in quanto più complesso sarà l'edificio, più complessa risulterà la rappresentazione concettuale e la relativa lettura.

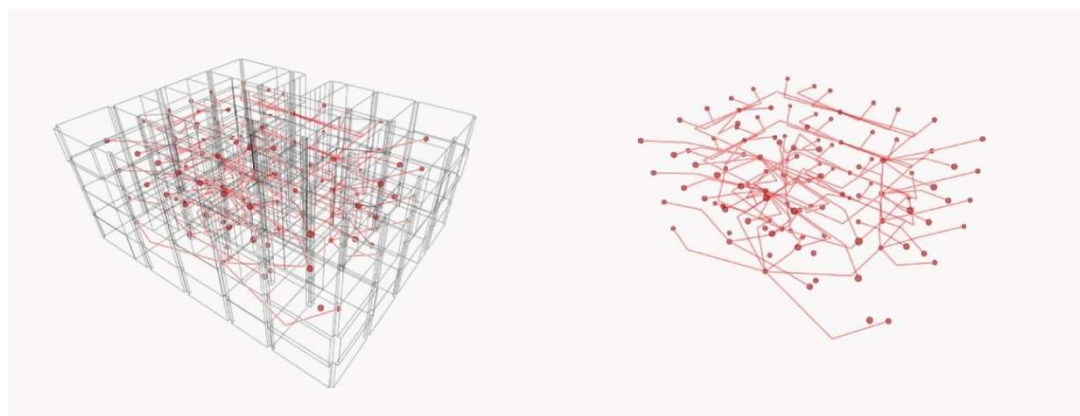


Fig. 85 – Risultati della mappatura del caso studio ed estrazione dei percorsi

Può essere utile solamente per avere una visione d'insieme della navigazione in tutto l'edificio e della sistemazione degli ambienti.

Simulazione sui percorsi interni tra locali, anche in piani differenti (L-L)

Come prima elaborazione della mappatura, viene presentata la ricerca dei percorsi dati due locali come input e il successivo filtraggio dei risultati per il riconoscimento di quello più corto.

Come visto in precedenza, la funzione viene sviluppata attraverso i nodi *ShortestPath* e *AllPaths*, che utilizzano come input la mappatura realizzata e mostrata nel paragrafo precedente e i centroidi dei locali che vogliono essere collegati.

Lo script utilizzato è un'elaborazione del precedente, in quanto gran parte del procedimento è il medesimo (per la creazione del *CellComplex*), a cui sono stati fatti alcuni aggiustamenti in termini di individuazione dei due locali interessati ed estetici per facilitarne la lettura.

Per quanto riguarda il procedimento di estrazione dei centroidi interessati, è stato utilizzato un sistema di filtraggio dei locali che permette la loro individuazione digitandone il nome (**Fig. 86**). Il sistema prevede la scrittura puntuale del nome dei locali inseriti in Revit: infatti, inserendone uno differente lo script non funzionerà. Bisogna quindi prestare attenzione anche ad eventuali stili utilizzati (in particolare lettere maiuscole). Per rendere questo possibile errore meno ricorrente è stato utilizzato un nodo che permette la creazione di una lista in cui sono riportati tutti le denominazioni dei locali presenti nel modello.



Fig. 86 - Modalità di selezione dei locali di input per il percorso

La ricerca dei locali, tramite lo script, diventa quindi di facile accessibilità, in quanto basterà digitare correttamente il nome dei due locali interessati e in automatico verranno riportati i percorsi possibili oppure il più corto di questi.

Per quanto riguarda invece l'elaborazione estetica, si è voluto evidenziare i due locali selezionati come input, attraverso l'utilizzo di un colore, sia per il volume dell'ambiente, sia per il suo centroide, in modo tale da renderli riconoscibili nella totalità dell'edificio.

Lo script permette la ricerca di percorsi tra ambienti dello stesso piano ma anche tra piani differenti in quanto anche i sistemi di risalita sono stati convertiti in elementi topologici.

Nel primo caso (**Fig. 87**) è stato riportato il percorso tra gli ambienti “Ufficio” e “Sala conferenze”, posizionati entrambi nello stesso piano, per simulare quindi un percorso ricorrente che un professore potrebbe compiere.

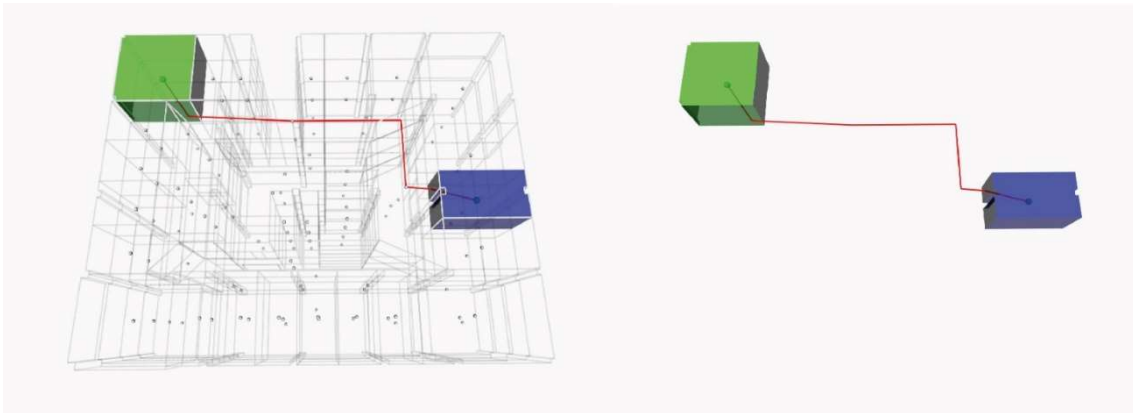


Fig. 87 – Utilizzo del nodo *ShortestPath* sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra due locali sullo stesso piano e successiva estrazione del risultato

Nel secondo caso (**Fig. 88**), invece, viene rappresentato il percorso che collega i locali “Ufficio” al P3 e “Aula” al PT, percorso che un professore deve compiere per raggiungere l’aula per fare lezione.

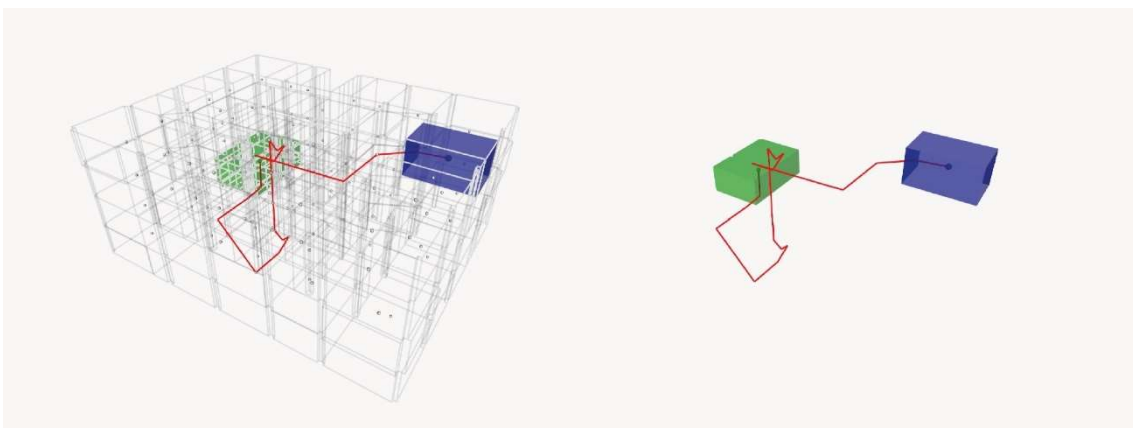


Fig. 88 - Utilizzo del nodo *ShortestPath* sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra due locali su due livelli differenti e successiva estrazione dei locali attraversati dal collegamento e del percorso

In aggiunta, per la rappresentazione dei percorsi su piani differenti si sono voluti evidenziare anche i locali che durante il percorso vengono attraversati (**Fig. 89**).

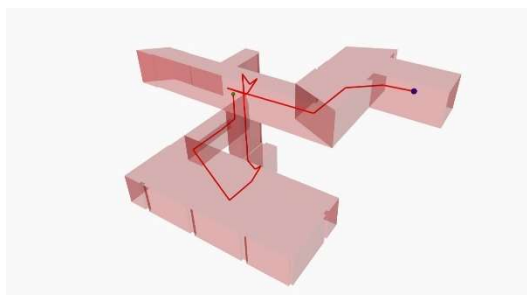


Fig. 89 – Locali che interessano il percorso tra i locali definiti nella Fig. 88

Topologic permette, inoltre, di produrre un riscontro del risultato anche all'interno dell'ambiente Revit con la rappresentazione semplificata dei tragitti trovati (**Fig. 90**).



Fig. 90 – Elaborazione Revit del percorso tra due locali realizzato nella Fig. 87

Fino ad ora si è parlato solamente di risultati in termini visivi, la creazione di questi percorsi però permette l'estrazione di informazioni anche numeriche e nominali. Il percorso che si ottiene tramite il grafo è facilmente trasformabile in una polilinea, dalla quale sono estraibili la lunghezza del tragitto oppure una lista degli ambienti che vengono attraversati.

Simulazione sui percorsi per il raggiungimento delle uscite di sicurezza più vicine (L-U)

Un'ulteriore elaborazione della mappatura di un edificio consiste nella ricerca del percorso per il raggiungimento della più vicina uscita di sicurezza da ogni locale in caso di emergenza (**Fig. 91**).

In termini di funzionamento lo script è simile a quello presentato precedentemente: cambia infatti solamente l'input da inserire per la definizione del percorso.

La ricerca di un percorso locale-porta di sicurezza, a differenza del caso locale-locale, prevede la realizzazione di una parte di script in cui si filtrano i locali per estrarne il nome (come fatto nel caso precedente) e una seconda parte in cui il filtraggio viene realizzato sulla categoria porta, al fine di estrarre tutte quelle che in Revit sono state identificate come tali. In questo modo, uno dei due input non sarà più il centroide di un locale, ma la posizione effettiva dell'uscita di sicurezza.

A differenza del caso precedente, la ricerca del percorso sarà sempre realizzata su un solo piano, in quanto il collegamento più veloce non sarà mai (in termini di distanza) tra un locale e una porta su piani differenti. A questo si aggiunge anche il fatto che nel caso studio i sistemi di risalita ordinari sono interni e in una situazione emergenziale è sempre consigliato l'utilizzo delle apposite scale esterne di emergenza.

A livello di estetica, gli input per evidenziare i vari ambienti sono i medesimi dello script precedente.

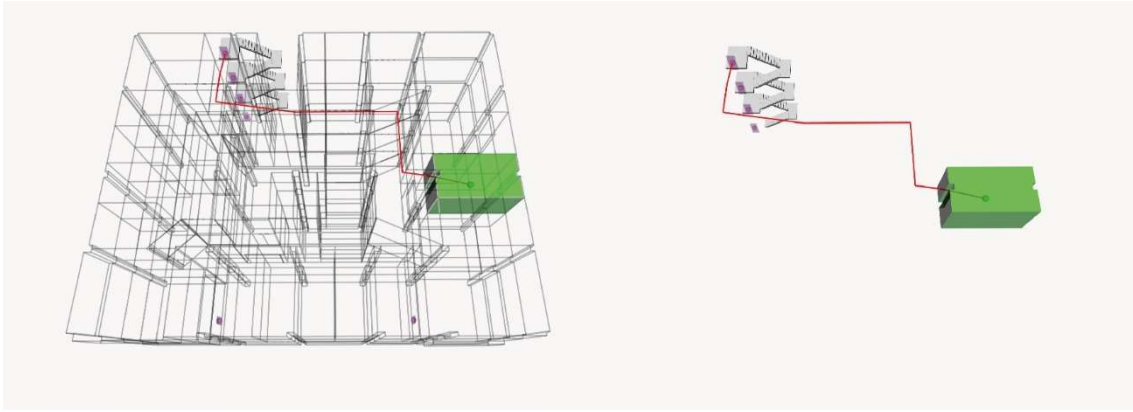


Fig. 91 – Utilizzo del nodo *ShortestPath* sul caso studio per la ricerca del percorso più corto tra un locale e le uscite di sicurezza e successiva estrazione del risultato

Come detto nel paragrafo dei collegamenti locale-locale, anche per questo tipo di simulazione è possibile ed interessante l'estrazione di informazioni numeriche e nominali del percorso che viene individuato.

Topologic non è l'unico software sul commercio per compiere le simulazioni che sono state mostrate nel capitolo e per compierne ulteriori. La sua forza rispetto agli altri è il funzionamento all'interno di Dynamo che permette di compiere dei cambiamenti progettuali in Revit e di avere un riscontro immediato nelle simulazioni. Questo rappresenta un aspetto da non sottovalutare perché permette una riduzione dei tempi, non essendo necessaria l'esportazione del modello in altri formati, e la possibilità di inserire questo tipo di indagini all'interno del processo progettuale, senza circoscriverle ad indagini postume di verifica o ispezione.

Un ulteriore dato da evidenziare è il tempo di esecuzione dello script per ottenere i risultati che sono stati presentati. Utilizzando un pc portatile di prestazioni medie il tempo di esecuzione varia tra i 3 secondi e i 5 secondi. Avere a disposizione uno strumento che lavora ad un'elevata velocità permette, in caso di procedimenti ripetitivi, di guadagnare tempo tra una simulazione ed un'altra.

Conclusioni

La *Graph Theory* utilizzata per l'analisi di un modello BIM può rappresentare una grande potenzialità per la modellazione concettuale nel campo AEC. Come visto, infatti, la *GT* negli anni ha avuto un utilizzo diffuso nel campo dell'architettura come strumento per la migliore comprensione delle dinamiche che si formano all'interno di un edificio, anche grazie all'immediatezza degli elaborati grafici che permette di realizzare.

L'introduzione di Topologic nella tesi aveva come obiettivo principale quello di trovare uno strumento in grado di automatizzare l'implementazione della *GT* all'interno dei modelli BIM, per far quindi assumere agli elaborati concettuali un valore in grado di dettare le scelte dei progettisti nelle prime fasi della nascita di un edificio. Questo strumento, all'interno dei modelli informativi, può assumere un grande valore in termini di guadagno di tempo e denaro.

I software per compiere questo tipo di simulazioni sono svariati, ma la scelta ricade su Topologic in quanto permette la loro realizzazione all'interno di Dynamo, avendo la possibilità quindi di visualizzare immediatamente i risultati in caso di variazioni, anche minime, del progetto. La possibilità che offre, quindi, è del tutto innovativa rispetto a tutte altre alternative sul mercato.

Nella pratica, la valutazione che viene data è positiva, in termini di risultati grafici ma anche di velocità di esecuzione delle simulazioni. È necessario, comunque, un approfondimento rispetto al suo funzionamento per capirne al meglio l'utilizzo e la sua gestione.

All'interno della tesi si è voluto porre l'attenzione sullo studio dei percorsi ma, come visto anche dalla bibliografia messa a disposizione degli sviluppatori di Topologic, i campi in cui questo strumento può essere utilizzato sono molteplici.

Il tema che viene aperto da questa tesi è, quindi, la ricerca della compatibilità dei modelli topologici creati con Topologic e gli altri pacchetti di Dynamo che permettono la realizzazione di simulazioni più avanzate, come analisi energetiche o analisi della propagazione degli incendi.

Questo tipo di studio fornirebbe un'idea molto più chiara della vera potenza di Topologic come strumento di supporto al BIM e rappresenterebbe la dimostrazione ulteriore dell'indipendenza che questo tipo di software sta cercando di sviluppare nei confronti di tutti quelli creati per simulazioni mirate.

Bibliografia

- Abrishami, Sepehr, Farzad Pour Rahimian, Guest Editors, Li H Sepehr Abrishami, Jack Steven Goulding, Senior Research Fellow, Abdulkadir Ganah, and Senior Lecturer. 2014. "Integration of BIM and Generative Design to Exploit AEC Conceptual Design Innovation." *Journal of Information Technology in Construction*. Vol. 19. <http://www.itcon.org/2014/21>.
- Aish, Robert, and Aparajit Pratap Autodesk. 2013. "Spatial Information Modeling of Buildings Using Non-Manifold Topology with ASM and DesignScript."
- Aish Robert, Jabi Wassim, Lannon Simon, Wardahana Nicholas, and Chatzivasileiadi Aikaterni. 2018. "Topologic: Tools to Explore Architectural Topology." Gothenburg, Sweden. <https://orca.cardiff.ac.uk/113472/>.
- Arvin, Scott A, and Donald H House. 2002. "Modeling Architectural Design Objectives in Physically Based Space Planning." *Automation in Construction*. Vol. 11. www.elsevier.com/locate/autcon.
- Aryani, Ahmad Latiffi, Juliana Brahim, and Mohamad Syazli Fathi. 2014. "The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition." In *Applied Mechanics and Materials*, 567:625–30. Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625>.
- Autodesk. 2020. *Autodesk Revit 2020 Architecture Basics*. <https://static.sdcpublishings.com/pdf/sample/978-1-63057-263-1-2.pdf>.
- . 2021. *Autodesk Revit 2021 Architecture Fundamentals*.
- Bevilacqua, Marco Giorgio. 2011. "Alexander Klein and the Existenzminimum: A 'Scientific' Approach to Design Techniques." *Nexus Network Journal* 13 (2): 297–313. <https://doi.org/10.1007/s00004-011-0080-6>.
- BS EN ISO 19650-4:2022. 2022. www.ukbimframework.org.
- Burnett, Margaret M. 1999. "Visual Programming." John Wiley & Sons Inc.
- Calquin, Danny Alfredo Lobos, Gerth Wandersleben, and Lorena Silva Castillo. 2014. "Interoperability Map between BIM and BPS Software." In *Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 601–8. American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784413616.075>.
- Camporeale, Michele, and Guido R. Dell'Osso. 2020. "Dynamo Studio."
- Carbonara. 1976. *Architettura Pratica*. Vol. 1.
- Cardiff University. 2019a. "Tutorial 02: Creating a Multi-Storey Building."
- . 2019b. "Tutorial 03: Topological Queries."
- . 2019c. "Tutorial 04: Analysis Energy Performance."
- Cavalcanti, Paulo Roma, Paulo Cezar, Pinto Carvaiho, and Fernando Marthat. 1997. "Non-Manifold Modelling: An Approach Based on Spatial Subdivision." *Computer-Aided Design*. Vol. 29. Elsevier Science Ltd PII.
- Chuck Eastman. 2009. "Automated Assessment of Early Concept Design."
- "D.M. 2 Agosto 2021, n.312 'BIM.'" 2021. https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/2021-08/DM_2021-08-02_BIM.pdf.

- Donato, Vincenzo. 2017. "Towards Design Process Validation Integrating Graph Theory into BIM." *Architectural Engineering and Design Management* 13 (1): 22–38. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1208602>.
- Eulero. 1736. "The Seven Bridges of Konigsberg." In , 573–80.
- Filippo, Andrea di, Marco Lombardi, Francesco Marongiu, Angelo Lorusso, and Domenico Santaniello. 2021. "Generative Design for Project Optimization." In *Proceedings - DMSVIVA 2021: 27th International DMS Conference on Visualization and Visual Languages*, 110–15. Knowledge Systems Institute Graduate School, KSI Research Inc. <https://doi.org/10.18293/dmsviva21-014>.
- Founds, L.R. 1980. *Graph Theory Application*.
- Ghannad, Pedram, Yong Cheol Lee, Johannes Dimyadi, and Wawan Solihin. 2019. "Automated BIM Data Validation Integrating Open-Standard Schema with Visual Programming Language." *Advanced Engineering Informatics* 40 (April): 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.01.006>.
- Gupta, Nitin, Kapil Mangla, Anand Kumar Jha, and Md. Umar. 2016. "Applying Dijkstra's Algorithm in Routing Process." www.ijntr.org.
- Isaac, S, F Sadeghpour, and R Navon. 2013. "Analyzing Building Information Using Graph Theory."
- Jabi, Wassim. 2015. "The Potential of Non-Manifold Topology in the Early Design Stages Machine Learning Implementation on Architecture View Project." <https://www.researchgate.net/publication/330292661>.
- Jabi, Wassim, Robert Aish, Simon Lannon, Aikaterini Chatzivasileiadi, and Nicholas Mario Wardhana. 2018. "Topologic A Toolkit for Spatial and Topological Modelling." In *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2:449–58. Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.2.449>.
- Jabi, Wassim, and Aikaterini Chatzivasileiadi. 2021. "Topologic: Exploring Spatial Reasoning Through Geometry, Topology, and Semantics." *Technology & Innovation*. <http://www.springer.com/series/15883>.
- Jabi, Wassim, Aikaterini Chatzivasileiadi, Nicholas Mario Wardhana, Simon Lannon, and Robert Aish. 2019. "The Synergy of Non-Manifold Topology and Reinforcement Learning for Fire Egress."
- Jarzyna, Michał. 2021. "Finding Optimal Path Planning Method for Building Navigation in BIM."
- Lauria, Antonio. 2012. *La Progettazione Esigenziale Nella Dimensione Culturale Dell'abitare*.
- Ma, Wei, Xiangyu Wang, Jun Wang, Xiaolei Xiang, and Junbo Sun. 2021. "Generative Design in Building Information Modelling (Bim): Approaches and Requirements." *Sensors*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21165439>.
- Mari, Anthony. di, and Nora. Yoo. 2012. *Operative Design : A Catalogue of Spatial Verbs*. BIS Publishers.
- Mirahadi, Farid, and Brenda Y. McCabe. 2021. "EvacuSafe: A Real-Time Model for Building Evacuation Based on Dijkstra's Algorithm." *Journal of Building Engineering* 34 (February). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101687>.
- Porter, Stuart, Terence Tan, Tele Tan, and Geoff West. 2014. "Breaking into BIM: Performing Static and Dynamic Security Analysis with the Aid of BIM." *Automation in Construction* 40 (April): 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.002>.
- Shimada, Kenji. 1989. "A Mathematical Theory and Applications of Non-Manifold Geometric Modeling." <https://www.researchgate.net/publication/242413911>.
- Strug, Barbara, and Grażyna Ślusarczyk. 2017. "Reasoning about Accessibility for Disabled Using Building Graph Models Based on BIM/IFC." *Visualization in Engineering* 5 (1). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0048-z>.

- Tien Doan, Dat, Ali Ghaffarianhoseini, Nicola Naismith, Tongrui Zhang, Attiq Ur Rehman, John Tookey, and Amirhosein Ghaffarianhoseini. 2019. "What Is BIM? A Need for A Unique BIM Definition." <https://doi.org/10.1051/mateconf/2019>.
- Tsai, Chun Yen. 2019. "Improving Students' Understanding of Basic Programming Concepts through Visual Programming Language: The Role of Self-Efficacy." *Computers in Human Behavior* 95 (June): 224–32. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.11.038>.
- Ullah, Kaleem, Irene Lill, and Emlyn Witt. 2019. "An Overview of BIM Adoption in the Construction Industry: Benefits and Barriers." In *Emerald Reach Proceedings Series*, 2:297–303. Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052>.
- Vaccaro, Giuseppe. 1933. *Schemi Distributivi Di Architettura*. Bologna.
- YourDesk University, and Wassim Jabi. 2021. "BIM Requires Complexity First, Topologic Does Not!" YouTube. https://youtu.be/7IS_Oji8a1I.
- Zadeh, Puyan, and Ali Jamali. 2010. "BIM-Based Immersive Indoor Graph Networks for Emergency Situations in Buildings."