



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

A.a. 2020/2021

Sessione di Laurea Luglio 2021

Integrazione BIM-LCA per il calcolo del parametro GWP

Il caso studio del fabbricato Lastratura FCA di Mirafiori

Relatrice:

Prof.ssa Anna Osello

Candidata:

Francesca Monetti

Correlatori:

Prof. Matteo Del Giudice

Phd. Arch. Sara Giaveno

Sommario

1.0	INTRODUZIONE	11
2.0	STATO DELL'ARTE METODOLOGIE BIM E LCA	13
2.1	Introduzione alla Metodologia BIM.....	13
2.2	Introduzione alla metodologia LCA.....	15
2.2.0	Le quattro fasi che compongono l'analisi LCA.....	16
2.2.1	Parametro GWP - Global Warming Potential	20
2.2.2	Le Certificazioni ambientali	21
2.2.3	Le banche dati per l'analisi LCA.....	21
2.3	Analisi dello stato dell'arte delle metodologie di integrazione BIM-LCA.....	23
3.0	ELABORAZIONE STRATEGIA PER L'INTEGRAZIONE DELLE METODOLOGIE BIM E LCA.....	27
3.1	Scelta e sviluppo della strategia iniziale	27
3.2	Presentazione dei plugin per la valutazione LCA: Tally e One Click LCA	32
3.2.1	Studio del plugin Tally	32
3.2.2	Studio del plugin One Click LCA	38
3.3	Prova di confronto tra i plugin Tally e One Click LCA tramite caso studio.....	42
3.4	Sviluppo e prova della metodologia d'integrazione BIM-LCA	43
4.0	CASO STUDIO: CALCOLO DEL PARAMETRO GWP DELL'IMPIANTO DI LASTRATURA FCA A MIRAFIORI	50
4.1	Presentazione dell'impianto di Lastratura come modello su Revit	50
4.2	Primo passaggio della strategia d'integrazione BIM-LCA: Tally.....	51
4.3	Secondo passaggio della strategia d'integrazione BIM-LCA: Dynamo.....	56
5.4	Tematizzazione Modello Revit attraverso filtri di vista	69
5.5	Proposte di modifiche impianto per l'abbassamento del valore del parametro GWP: Roof-Tetto	76
5.6	Proposte di modifiche impianto per l'abbassamento del valore del parametro GWP: Walls-Muri.....	81
5.0	ANALISI CRITICA E SVILUPPI FUTURI	99
5.1	Raccolta dei risultati finali ottenuti.....	99
5.2	Visualizzazione risultati tramite il BIM Viewer Dalux	101
5.3	Analisi finale con Conclusioni riassuntive e Progetti futuri	106
	BIBLIOGRAFIA.....	109
	SITOGRAFIA	111
	RINGRAZIAMENTI.....	113

ALLEGATI.....	114
---------------	-----

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: MODELLO DEL LIFE CYCLE THINKING.....	15
FIGURA 2: LIFE CYCLE ASSESSMENT FRAMEWORK	17
FIGURA 3: METODOLOGIA D'INTEGRAZIONE SVILUPPATA NELL'ARTICOLO A VALIDATION STUDY OF A SEMI-AUTOMATIC BIM-LCA TOOL	24
FIGURA 4: APPROCCI D'INTEGRAZIONE BIM-LCA DAL TESTO BIM AND LCA INTEGRATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	25
FIGURA 5: GRAFICO SUL RISULTATO DELLO STUDIO DELLE RELAZIONI, TRAMITE LINEE COLORATE, TRA LCA DATABASE E TOOLS	26
FIGURA 6: TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI STEP DELLA LCA IN RELAZIONE AL TIPO DI TOOL	28
FIGURA 7: STRATEGIE DI INTEGRAZIONE BIM-LCA.....	28
FIGURA 8: IN ALTO WORKFLOW STRATEGIA 4, IN BASSO WORKFLOW STRATEGIA 5.....	30
FIGURA 9: WORKFLOW METODOLOGICO INIZIALE	31
FIGURA 10: INTERFACCIA INIZIALE PLUGIN TALLY.....	33
FIGURA 11: SCHEDA CATEGORIA-FAMIGLI-TIPI-MATERIALI TALLY CON LEGENDA STATO ASSEGNAZIONE MATERIALE.....	33
FIGURA 12: LISTA MATERIALI PRESENTI SUL DATABASE TALLY CON SCHEDA COMPOSIZIONE MATERIALE.....	34
FIGURA 13: SCHEDA COMPOSIZIONE MATERIALE SU TALLY	34
FIGURA 14: SCHEDA INFORMAZIONI PROGETTO	35
FIGURA 15: REPORT FINALE IN .PDF - TALLY	36
FIGURA 16: REPORT FINALE IN .PDF DI TALLY-VALORI PARAMETRI IMPATTO AMBIENTALE PER LE DIVERSE FASI DI PROGETTO	36
FIGURA 17: REPORT FINALE IN .PDF DI TALLY-DESCRIZIONE METODOLOGIA DI CALCOLO E LCI DATA	36
FIGURA 18: ESEMPIO DI GRAFICO SU REPORT IN .PDF DI TALLY.....	37
FIGURA 19: ESEMPIO DI FILE EXCEL DA TALLY.....	37
FIGURA 20: INTERFACCIA INIZIALE DEL PLUGIN ONE CLICK LCA	39
FIGURA 21: ASSEGNAZIONE MATERIALI SUL PLUGIN ONE CLICK LCA	40
FIGURA 22: INTERFACCIA FINALE RISULTATI DEL PLUGIN DI ONE CLICK LCA	40
FIGURA 23: SCHEDA IMPOSTAZIONI DA COMPILARE SUL SOFTWARE ONE CLICK LCA	40
FIGURA 24: RISULTATI ANALISI LCA DI ONE CLICK LCA SU EXCEL	41
FIGURA 25: REPORT FINALE DI ONE CLICK LCA IN .PDF	41
FIGURA 26: PROVA CONFRONTO PLUGIN CON TRE TIPI DI MURI SU REVIT.....	42
FIGURA 27: WORKFLOW METODOLOGICO.....	44
FIGURA 28: CREAZIONE PARAMETRO CONDIVISO GWP.....	44
FIGURA 29: COMANDO DATA.IMPORTEXCEL DI DYNAMO	45
FIGURA 30: COMANDI SU DYNAMO PER L'ORGANIZZAZIONE DELLE LISTE	46
FIGURA 31: COMANDI SU DYNAMO PER L'ESTRAZIONE DELLE LISTE DEI WALL TYPE ELEMENTS	46

FIGURA 32: COMANDI SU DYNAMO PER LA COMPILAZIONE AUTOMATICA DEL PARAMETRO CONDIVISO GWP SU REVIT.....	46
FIGURA 33: FOGLIO EXCEL CON I VALORI DI GWP DA REPORT DI TALLY.....	47
FIGURA 34: FOGLIO EXCEL, CON I VALORI DI GWP, MODIFICATO PER DYNAMO.....	47
FIGURA 35: COMPILAZIONE AUTOMATICA DEL PARAMETRO GWP TRAMITE DYNAMO.....	47
FIGURA 36: IMPOSTAZIONE RANGE DI VALORI GWP PER FILTRI DI VISTA SU REVIT.....	48
FIGURA 37: IMPOSTAZIONE COLORI PER FILTRI DI VISTA SU REVIT.....	49
FIGURA 38: VISUALIZZAZIONE MODELLO CON FILTRI DI VISTA- VISTA HIDDEN LINE.....	48
FIGURA 39: WORKFLOW METODOLOGICO CASO STUDIO IMPIANTO DI LASTRATURA.....	49
FIGURA 40: MODELLO SU REVIT DELL'IMPIANTO DI LASTRATURA.....	51
FIGURA 41: IMPOSTAZIONI PLUGIN TALLY ANALISI IMPIANTO DI LASTRATURA.....	52
FIGURA 42: LISTE DI CATEGORIE, FAMIGLIE E MATERIALI SU TALLY.....	52
FIGURA 43: LISTE DEI MATERIALI COLLEGATI AL LORO UTILIZZO - TALLY.....	53
FIGURA 44: FINESTRA DI TALLY PER DEFINIRE NEL DETTAGLIO IL MATERIALE DA ASSOCIARE...	53
FIGURA 45: VALORI DEGLI INDICATORI D'IMPATTO AMBIENTALE RESTITUITI DA TALLY.....	54
FIGURA 46: GRAFICI DEGLI INDICATORI D'IMPATTO AMBIENTALE DIVISI PER MATERIALE- DA REPORT DI TALLY.....	54
FIGURA 47: GRAFICI DEGLI INDICATORI D'IMPATTO AMBIENTALE DIVISI PER CATEGORIE DI REVIT - DA REPORT DI TALLY.....	55
FIGURA 48: REPORT DI TALLY SU EXCEL.....	55
FIGURA 49: ORGANIZZAZIONE SU EXCEL DELLE LISTE PER DYNAMO.....	56
FIGURA 50: COMANDO IMPORTAZIONE DATI EXCEL SU DYNAMO.....	57
FIGURA 51: SCRIPT DI DYNAMO PER IL PRIMO GRUPPO DI FAMIGLIA DELLA CATEGORIA DOORS.....	58
FIGURA 52: SCRIPT DI DYNAMO PER LA CATEGORIA DOORS.....	59
FIGURA 53: DYNAMO: LISTA DEI TIPI DA REVIT A SINISTRA E DEI TIPI DA TALLY A DESTRA.....	60
FIGURA 54: NUOVO WORKFLOW METODOLOGICO.....	60
FIGURA 55: BLOCCHI DI DYNAMO PER L'ESPORTAZIONE DELLA LISTA DEI FAMILY TYPES SU EXCEL.....	61
FIGURA 56: ESPORTAZIONE DA DYNAMO DELLE LISTE DEI TIPI DI REVIT, IN ORDINE DA SINISTRA: DOORS, FLOORS, ROOFS, COLUMNS, STRUCTURAL COLUMNS, WALLS E WINDOWS.....	62
FIGURA 57: COMANDO SU REVIT CERCA.VERTICAL.....	63
FIGURA 58: ESEMPIO ASSEGNAZIONE VALORI DI TALLY (TABELLA GRIGIA IN BASSO) A LISTA DI REVIT (TABELLA BIANCA IN ALTO).....	63
FIGURA 59: IMPORTAZIONE FILE EXCEL CON DATI GWP SU DYNAMO E ORGANIZZAZIONE LISTE.....	67
FIGURA 60: BLOCCHI DI COMANDO SU DYNAMO PER ESPORTAZIONE DEL VALORE GWP SUL MODELLO REVIT.....	67
FIGURA 61: DIVISIONE SU DYNAMO DELLE LISTE DEI NOMI DEI TIPI IN SETTE SOTTO LISTE A SECONDA DELLE CATEGORIE.....	68
FIGURA 62: COMPILAZIONE AUTOMATICA DEL PARAMETRO CONDIVISO DEI TIPI DEL MODELLO SU REVIT (ESEMPI).....	68
FIGURA 63: DIVISIONE GRUPPI DI VALORI DEL GWP SU EXCEL SOPRA E IMPOSTAZIONE FILTRI DI VISTA SU REVIT SOTTO.....	69
FIGURA 64: IMPOSTAZIONE VISIBILITÀ SU REVIT E ASSEGNAZIONE COLORI AI GRUPPI DI GWP	70

FIGURA 65: MODELLO REVIT CON FILTRI DI VISTA ATTIVATI	70
FIGURA 66: BLOCCHI DI COMANDO SU DYNAMO PER IMPOSTARE LO STILE DEL GRAFICO A CIAMBELLA.....	71
FIGURA 67: BLOCCHI DI COMANDO SU DYNAMO PER IMPOSTARE IL GRAFICO A CIAMBELLA DEI VALORI DI GWP.....	72
FIGURA 68: GRAFICO A CIAMBELLA CON VALORE TOTALE DI GWP AL CENTRO	72
FIGURA 69: GRAFICO A CIAMBELLA CON SPICCHIO SELEZIONATO IN CORRISPONDENZA DELLA CATEGORIA FLOORS, VALORE DI GWP AL CENTRO	73
FIGURA 70: GRAFICO A TORTA E GRAFICO AD AREA CON I VALORI DI GWP, DA DYNAMO	74
FIGURA 71: GRAFICO A TORTA DA PACCHETTO DATA-SHAPES DI DYNAMO.....	75
FIGURA 72: VISUALIZZAZIONE GRAFICO A TORTA VALORI GWP DA PACCHETTO DYNAMO DATA- SHAPES.....	76
FIGURA 73: VISUALIZZAZIONE GRAFICO A TORTA VALORI GWP SU VISTA DI DETTAGLIO NEL MODELLO REVIT	76
FIGURA 74: ELENCO CATEGORIA, FAMIGLIA E TIPI DEL TETTO DA REVIT	77
FIGURA 75: MODIFICA STRATIGRAFIA MURO, IN ALTO LO STATO DI FATTO E IN BASSO LA MODIFICA CON IL TETTO IN LEGNO.....	77
FIGURA 76: GRAFICO A TORTA VALORI GWP DOPO MODIFICA TETTO IN LEGNO	78
FIGURA 77: IMPIANTO DI LASTRATURA CON TEMATIZZAZIONE DOPO MODIFICA TETTO IN LEGNO	78
FIGURA 78: STRATIGRAFIA TETTO CON ISOLANTE DI LANA DI VETRO	79
FIGURA 79: ASSEGNAZIONE MATERIALE ISOLANTE LANA DI VETRO SU TALLY.....	80
FIGURA 80: GRAFICO A TORTA VALORI GWP DOPO MODIFICA TETTO CON ISOLANTE DI LANA DI VETRO.....	80
FIGURA 81: IMPIANTO DI LASTRATURA CON TEMATIZZAZIONE DOPO MODIFICA TETTO CON ISOLANTE IN LANA DI VETRO.....	81
FIGURA 82: GRAFICI VALORI DI GWP, E ALTRE CATEGORIE D'IMPATTO, PER GRUPPI DI MATERIALI DA REPORT IN PDF DI TALLY	82
FIGURA 83: ESTRATTO FOGLIO DI REVIT SUL WALL MATERIAL TAKE OFF.....	83
FIGURA 84: ESTRATTO FOGLIO DI REVIT SUL WALL QUANTITY TAKE OFF.....	84
FIGURA 85: STRATIGRAFIA MURETTO TETTO DA REVIT.....	87
FIGURA 86: STRATIGRAFIA MURO PREFABBRICATO 0,4 M DA REVIT	87
FIGURA 87: STRATIGRAFIA PARETE INTERNA (LAMIERA 50 MM) DA REVIT.....	87
FIGURA 88: STRATIGRAFIA PARETE INTERNA (LAMIERA 150 MM) DA REVIT	88
FIGURA 89: STRATIGRAFIA INTERNO-PARETE 138 MM (1-HR) DA REVIT.....	88
FIGURA 90: STRATIGRAFIA PARETE INTERNA POLICARB (80 MM) DA REVIT	88
FIGURA 91: STRATIGRAFIA PARETE INTERNA POLICARB (180 MM) DA REVIT.....	89
FIGURA 92: STRATIGRAFIA PARETE INTERNA (TELONE 1.5 MM) DA REVIT.....	89
FIGURA 93: CONFRONTO STRATIGRAFIE PARETE INTERNA (LAMIERA 50 MM) PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA).....	90
FIGURA 94: CONFRONTO STRATIGRAFIE PARETE INTERNA(LAMIERA 150 MM) PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA)	90
FIGURA 95: CONFRONTO STRATIGRAFIE PARETE 138 MM(1-HR) PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA)	91
FIGURA 96: CONFRONTO STRATIGRAFIE MURETTO TETTO PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA)	91

FIGURA 97: CONFRONTO STRATIGRAFIE MURO PREFABBRICATO 0,4 M PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA).....	91
FIGURA 98: CONFRONTO STRATIGRAFIE PARETE INTERNA POLICARB (80 MM) PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA)	92
FIGURA 99: CONFRONTO STRATIGRAFIE PARETE INTERNA POLICARB (180 MM) PRIMA (A SINISTRA) E DOPO LA MODIFICA (A DESTRA).....	92
FIGURA 100: ESEMPIO SCHEDA ASSEGNAZIONE MATERIALE CALCESTRUZZO SU PARETE DI LAMIERA-SCHERMATA DI TALLY.....	92
FIGURA 101: ESEMPIO SCHEDA ASSEGNAZIONE MATERIALE PMMA SU PARETE DI POLICARBONATO-SCHERMATA DI TALLY.....	93
FIGURA 102: GRAFICO A TORTA DELLA NUOVA DISTRIBUZIONE DI GWP DA REPORT IN PDF DI TALLY - MODIFICA MURATURA + ACCIAIO/METALLO	94
FIGURA 103: GRAFICO A TORTA DELLA NUOVA DISTRIBUZIONE DI GWP DA REPORT IN PDF DI TALLY - MODIFICA MURATURA + COMPOSITO.....	95
FIGURA 104: GRAFICO A TORTA DELLA NUOVA DISTRIBUZIONE DI GWP DA REPORT IN PDF DI TALLY – MODIFICA ACCIAIO/METALLO + COMPOSITO.....	96
FIGURA 105: TEMATIZZAZIONE SU REVIT DELL'IMPIANTO DI LASTRATURA - STATO DI FATTO SOPRA, STATO DOPO LA MODIFICA DEI MURI SOTTO	97
FIGURA 106: PIANTA STATO DI FATTO IMPIANTO DI LASTRATURA CON DIVISIONE LOCALI-RETTANGOLI PER SEGNALARE POSIZIONE MURI IN ACCIAIO/METALLO (ROSSO) E COMPOSITO (BLU).....	98
FIGURA 107: CONFRONTO GRAFICO A TORTA CON VALORI GWP TRA IMPIANTO NELLO STATO DI FATTO (SINISTRA) E IMPIANTO CON APPLICATE LE MODIFICHE A TETTO E MURI (DESTRA)...	99
FIGURA 108: TEMATIZZAZIONE IMPIANTO-IMPIANTO NELLO STATO DI FATTO SOPRA, IMPIANTO CON MODIFICHE A MURI E TETTO SOTTO.....	99
FIGURA 109: DALUX BIM VIEWER PER IL MODELLO REVIT DELL'IMPIANTO DI LASTRATURA ...	101
FIGURA 110: SCHERMATA INIZIALE SU REVIT DEL PLUGIN DALUX	102
FIGURA 111: FINESTRA IMPOSTAZIONI PER L'ESPORTAZIONE DEL MODELLO DI REVIT SUL SOFTWARE DALUX.....	102
FIGURA 112: FINESTRA IMPOSTAZIONI PER L'ESPORTAZIONE DEL MODELLO DI REVIT SUL SOFTWARE DALUX- PARAMETRO DI DISCIPLINA	103
FIGURA 113: FINESTRA IMPOSTAZIONI PER L'ESPORTAZIONE DEL MODELLO DI REVIT SUL SOFTWARE DALUX-SINTESI INFORMAZIONI INSERITE.....	103
FIGURA 114: IMPOSTAZIONE FILTRI SUL BIM VIEWER DALUX	104
FIGURA 115: VISUALIZZAZIONE SU DALUX DEL MODELLO REVIT CON OPZIONI DI INDAGINE PROPRIETÀ ELEMENTI	105
FIGURA 116: APP DALUX CON VISUALIZZAZIONE PROPRIETÀ ELEMENTO PILASTRO DA SMARTPHONE.....	105

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: TABELLA PARAMETRI DI STUDIO PER LA SCELTA DELLA STRATEGIA D'INTEGRAZIONE BIM-LCA.....	29
TABELLA 2: TABELLA PASSAGGI MANUALI DELL'UTENTE NELLE DIVERSE STRATEGIE.....	29
TABELLA 3: TABELLA RIASSUNTIVA CONFRONTO TALLY E ONE CLICK LCA.....	42
TABELLA 4: TABELLA RIASSUNTIVA VANTAGGI E SVANTAGGI DI TALLY VS ONE CLICK LCA.....	42
TABELLA 5: ELENCO TIPI DA MODELLO REVIT CON ASSEGNATI VALORI DI GWP DA TA.....	66
TABELLA 6: VALORI DI GWP PER MATERIALI- DA REPORT SU EXCEL DI TALLY.....	82
TABELLA 7: VALORI DI GWP PER TIPI - DA REPORT SU EXCEL DI TALLY.....	83
TABELLA 8: QUANTITY TAKE OFF DA REVIT CATEGORIA MURI.....	84
TABELLA 9: MATERIAL TAKE OFF DA REVIT CATEGORIA MURI.....	84
TABELLA 10: TABELLA RIASSUNTIVA STUDIO IMPATTO MURI PER TIPO, MATERIALE E QUANTITÀ	86
TABELLA 11: VALORI DI GWP DIVISI PER GRUPPI DI MATERIALI DA REPORT IN EXCEL DI TALLY – MODIFICA MURATURA + ACCIAIO/METALLO.....	94
TABELLA 12: VALORI DI GWP DIVISI PER GRUPPI DI MATERIALI DA REPORT IN EXCEL DI TALLY - MODIFICA MURATURA + COMPOSITO.....	95
TABELLA 13: VALORI DI GWP DIVISI PER GRUPPI DI MATERIALI DA REPORT IN EXCEL DI TALLY – MODIFICA ACCIAIO/METALLO + COMPOSITO.....	96
TABELLA 14: RIEPILOGO E CONFRONTO VALORI GWP TRA LO STATO DI FATTO E LE MODIFICHE PROPOSTE.....	96

Abstract:

Il settore dell'edilizia, a causa dell'enorme utilizzo di risorse prime e di energia, è responsabile di un impatto ambientale che, ormai da decenni, è insostenibile per il Pianeta. Per contrastare questa situazione d'emergenza, uno strumento utile per una progettazione più sostenibile è l'utilizzo della metodologia LCA - *Life Cycle Assessment* sul prodotto edilizio, fin dalle prime fasi del progetto. Tuttavia, questo passaggio non è ancora così diffusamente utilizzato, sia a causa delle difficoltà nel reperire tutte le informazioni necessarie, sia perché richiede un procedimento di calcolo lungo e laborioso. Per risolvere quest'ultimo problema è fondamentale utilizzare la metodologia BIM, integrandola con la metodologia LCA. In letteratura si trovano diverse proposte di strategie d'integrazione ma poche tra queste sono complete e facilmente replicabili, per questo motivo è stato scelto di creare una nuova strategia d'integrazione BIM-LCA, partendo dalle proposte esistenti, e di applicarla su un caso studio che è l'impianto Lastratura FCA di Mirafiori. Tra tutti gli indicatori d'impatto ambientale calcolabili tramite la valutazione LCA è stato scelto di calcolare il GWP- *Global Warming Potential* come parametro rappresentativo dell'impatto ambientale dell'edificio. Una volta applicata la metodologia e ottenuto il valore dell'indicatore, sono state studiate diverse proposte di modifica dell'impianto in caso di ristrutturazione o lavori di miglioramento in futuro. Inoltre, è stata utilizzata la tematizzazione a colori del modello su Revit e grafici rappresentativi dell'andamento dell'indicatore come riscontro grafico della diminuzione del parametro. L'ultimo passaggio è stato quello di utilizzare un' applicazione per la visualizzazione del parametro sul modello 3D, sono stati ipotizzati dei passaggi futuri da fare per migliorare la metodologia e rendere l'analisi LCA uno step facilmente integrabile nel processo di progettazione.

1.0 INTRODUZIONE

Nel settembre del 2015 le Nazioni Unite, composte da 193 Paesi membri¹, hanno presentato l'Agenda 2030² per lo Sviluppo Sostenibile, un programma che si prefigge l'obiettivo di migliorare radicalmente le condizioni delle persone e del pianeta nei prossimi 15 anni. Per farlo sono stati posti 17 obiettivi e 169 traguardi che andranno ad operare direttamente per uno Sviluppo Sostenibile, seguendo 5 gruppi di interventi così denominati: Collaborazione, Prosperità, Pace, Persone e Pianeta. Per quest'ultimo la parola chiave è Protezione: dalla degradazione, dall'uso spropositato e mal gestito delle risorse naturali, dal cambiamento climatico e, infine, protezione del pianeta per le generazioni future. Il pianeta Terra, come nostra dimora, deve essere protetto.

Il campo dell'edilizia non si esime da queste responsabilità: l'impatto ambientale che deriva da tutti i gruppi responsabili del processo di costruzione è importante e deve essere diminuito. Nei 17 punti dell'agenda ritroviamo "Energia pulita e accessibile", "Città e comunità sostenibili" e "Consumo e produzione responsabili", tutti campi che interessano anche la sfera edilizia e che, quindi, ci indicano la necessità di cambiare l'approccio tradizionale a tutti i componenti e le attività racchiuse nella progettazione.

Per agire in maniera efficace contro il cambiamento climatico e gli impatti ambientali, l'Unione Europea ha introdotto il sistema EU ETS per la gestione dell'emissione di CO₂ da parte delle aziende sintetizzato in quote di emissione: lo scopo è quello di raggiungere "la neutralità climatica nell'UE entro il 2050, compreso l'obiettivo intermedio di una riduzione netta delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030"³. Per riuscire in tale impresa, gli impianti industriale hanno un tetto massimo, fissato a priori in termini di quantità, di gas serra che possono emettere. Alla fine di ogni anno questo tetto diminuisce così da abbassare anche le emissioni, inoltre ogni impianto ha la possibilità di acquistare, ricevere o scambiare le quote di emissione, creando così un vero e proprio mercato della CO₂. Queste quote devono essere poi restituite per un valore totale affinché siano in grado coprire i gas emessi durante l'anno, pena importanti sanzioni. Questo sistema permette di raggiungere la diminuzione dell'impatto ambientale, ma in un contesto dinamico che rende semplice, conveniente, e a volte proficuo, seguire le regole. Poter quindi quantificare, in maniera precisa, l'emissione di CO₂ di un impianto diventa un'operazione fondamentale nel campo dell'edilizia, poiché tra i settori interessati ci sono quelli di produzione dei materiali per la costruzione.

¹ <https://unric.org/it/agenda-2030/>

² Organizzazione delle Nazioni Unite, Risoluzione adottata dall'assemblea generale il 25 settembre 2015, Settantesima sessione, punti dell'agenda 15 e 116.

³ https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_it#tab-0-0

Per il calcolo dell'impatto ambientale di un prodotto, e quindi anche il calcolo della quantità di CO₂ equivalente, lo strumento necessario è la valutazione LCA, Life Cycle Assessment, ovvero l'analisi del ciclo di vita del prodotto, che permette di calcolarne l'impatto ambientale durante tutte le fasi di vita. Questa analisi richiede una grande quantità d'informazioni e di calcoli lunghi e laboriosi, per questo motivo è fondamentale utilizzare softwares che permettano di velocizzare i procedimenti e integrare la metodologia BIM così da poter reperire tutti i dati necessari facilmente.

Per questo motivo l'analisi LCA, l'integrazione con la metodologia BIM, la quale diventerà obbligatoria per tutte le nuove costruzioni a partire dal 2025, e l'utilizzo dei risultati come linee guida per un progetto sostenibile fanno parte della progettazione edilizia del futuro. Lo scopo di questo elaborato è stato infatti quello di applicare queste metodologie su un caso studio reale, in modo da analizzare i problemi riscontrabili ed elaborare una strategia di soluzione semplice, intuitiva e replicabile.

Nel secondo capitolo sono state analizzate la metodologia BIM e quella LCA, compresa di descrizione delle fasi che la compongono unite alla definizione del GWP, e infine le strategie di integrazione BIM-LCA finora ideate, raccolte in una matrice dello stato dell'arte.

Nel terzo capitolo vengono illustrati i passaggi per la definizione della strategia d'integrazione utilizzata nel caso studio, compresi di: selezione di strategia esistente come punto di partenza, definizione di una nuova strategia, prova di quest'ultima in un caso studio elementare e determinazione della metodologia finale d'integrazione.

Nel quarto capitolo è stata applicata la procedura d'integrazione, definita nel capitolo precedente, al caso studio proposto in questa tesi: calcolo del parametro d'impatto GWP attraverso l'integrazione BIM-LCA dell'impianto di lastratura FCA Mirafiori. Sono state inoltre avanzate delle possibili modifiche alle stratigrafie degli elementi del complesso, in vista di una possibile ristrutturazione o ricostruzione futura, in modo da diminuire l'impatto ambientale totale dell'impianto.

Nell'ultimo capitolo sono stati raccolti i dati finali dell'analisi insieme alle proposte di modifiche, è stato presentato il funzionamento e l'utilizzo di un'app per la visualizzazione in 3D degli elementi dell'impianto con valori di GWP annessi e sono state avanzate delle idee di progetti futuri per migliorare la strategia ideata.

2.0 STATO DELL'ARTE METODOLOGIE BIM E LCA

2.1 Introduzione alla Metodologia BIM

“Building Information Modelling (BIM) is a set of technologies, processes and policies enabling multiple stakeholders to collaboratively design, construct and operate a Facility in virtual space.”⁴

L'Acronimo BIM, coniato nel 2002⁵, viene spesso considerato come un semplice tipo di software; il suo significato, invece, racchiude in sé un mondo di possibilità molto più ampio del singolo utilizzo. Si tratta, infatti, di una metodologia che comprende numerosi benefici e interessa diversi campi e diversi protagonisti. L'universo del BIM tocca tutti i settori che compongono il sistema edilizio: dalla parte impiantistica, quella strutturale e quella architettonica fino ad arrivare al committente stesso il quale, grazie alla rappresentazione grafica 3D e alla realtà virtuale, può diventare partecipe del progetto molto più di quanto fosse possibile prima. È un'attività umana di collaborazione tra professionisti e consente di inserire, all'interno degli oggetti di disegno, molteplici informazioni che possono essere sfruttate per diverse attività come la stima dei costi, l'esportazione delle quantità e l'analisi delle caratteristiche dei materiali. L'acronimo BIM racchiude 3 significati⁶:

- *Building Information Modeling*: inteso come azione, insieme di attività, lavoro di gruppo tra diversi professionisti di diversi campi;
- *Building Information Model*: modello parametrico che contiene molteplici informazioni e caratteristiche all'interno degli elementi che lo compongono. Permette di gestire un flusso di dati tra diversi software grazie all'interoperabilità tra quest'ultimi;
- *Beyond Information Models*: metodologia e modello che permettono di scavalcare il classico approccio alla progettazione standard 2D e di andare *oltre* le semplici caratteristiche geometriche del progetto inserendo al suo interno un mondo di opportunità.

Questa metodologia permette di modificare radicalmente la concezione della progettazione, e di aggiungere a quella classica geometrica in 2D tante analisi, di diverso tipo, che prima non venivano fatte, o venivano fatte a parte con tempi più lunghi e con una necessità di risorse maggiore.

⁴ <https://bimdictionary.com/terms/search>

⁵ Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti = The future of drawing with BIM for engineers and architects*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2012, p. 27.

⁶ *Ibid*, pp. 33-35

Le possibilità sono quindi più numerose, ma numerose sono anche le difficoltà che questa metodologia si porta dietro: la gestione delle risorse e delle informazioni, collegate a un modello BIM, sono maggiori rispetto a un semplice disegno CAD 2D, per questo è importante che vengano rispettati alcuni requisiti⁷ fondamentali:

- È importante che ci siano tecnologie in grado di supportare i processi e che i professionisti siano in grado di utilizzarle e di comprenderne le funzionalità;
- Interoperabilità: è la chiave della progettazione BIM. I software devono poter dialogare tra loro scambiando files attraverso un tipo di formato universale (quello più utilizzato è l'IFC) e nel passaggio non devono perdere informazioni;
- Le tipologie di dati che possono essere scambiate sono molteplici ed è importante che vengano organizzate in modo adeguato seguendo le indicazioni della normativa;
- I benefici maggiori del BIM si hanno quando il lavoro è di gruppo, rispetto a quello del singolo individuo. La comunicazione, il linguaggio e l'organizzazione sono fondamentali.

L'utilizzo del BIM è vantaggioso in tutte le fasi di progettazione: dalla parte iniziale, dove le diverse opzioni possono essere studiate tutte e insieme, alla fase definitiva dove l'organizzazione e le stime delle quantità in gioco diventano utili e facilmente reperibili, fino all'esecutivo dove i professionisti in gioco diventano ancora più numerosi e possono dialogare sullo stesso "foglio" di lavoro.

La parte finale, *l'as built*, e la manutenzione, richiedono che i documenti e i fogli di progetto siano facilmente reperibili e consultabili, chiari abbastanza da essere utilizzati dai protagonisti nella progettazione.

Si arriva così al concetto di Ciclo di Vita: questa metodologia permette, infatti, di considerare l'edificio e di "lavorarci" in tutte le sue fasi, beneficio che permette di poter esaminare e valutare l'edificio dall'inizio alla fine, così che tutte le scelte correlate a ogni singola fase possano essere fatte considerando l'impatto ambientale di quest'ultimo. E da qui che parte il progetto di tesi.

⁷ Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti = The future of drawing with BIM for engineers and architects*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p.41.

2.2 Introduzione alla metodologia LCA

A partire dagli anni '60 si può collocare l'origine del *Life Cycle Thinking (LCT)*, una filosofia di pensiero che considera il prodotto, nel nostro caso l'insieme degli elementi che compongono un edificio, come "l'insieme delle operazioni, dei flussi in input ed output di materiali e forme di energia associate a tutti gli step del suo ciclo di vita"⁸. Si incomincia ad analizzare i prodotti finiti considerando tutto il loro ciclo di vita, cercando così di diminuire il loro impatto ambientale e gli sprechi di risorse. Il modello del *Life cycle Thinking* è descritto dalla Figura 1:



Figura 1: modello del Life Cycle Thinking⁹

Dagli anni '80 il concetto di analisi del ciclo di vita comincia a diventare un mezzo di supporto nella produzione e inizia a essere denominato Life Cycle Assessment (LCA). Dagli anni '90 in poi vengono pubblicati i primi manuali, nascono i primi dispositivi per il calcolo con banche dati associate e le normative propongono una definizione e una struttura metodologica. Si arriva così ai giorni nostri, dove l'attenzione è passata dalle istituzioni per arrivare all'interesse comune, di aziende e consumatori, raccogliendo un'adesione e un interesse sempre più ampio e comune alle problematiche ambientali.

Il problema della sostenibilità ambientale parte da origini lontane: l'evoluzione dell'essere umano è andata di pari passo con l'urbanizzazione, a discapito della terra e della natura intorno a lui.

⁸ Manfredi M., *Applicazione della metodologia LCA (Life Cycle Assessment) per la valutazione della sostenibilità ambientale di prodotti, processi e tecnologie del settore agro-alimentare*, Università degli Studi di Parma, Tesi di Dottorato di ricerca in Ingegneria Industriale, ciclo XXVII, p. 8.

⁹ Immagine da internet, fonte: <https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/lifecycle-graphic>

La popolazione, aumentando, richiedeva più spazi, più case, più servizi e la natura incontaminata diventava sempre di più una natura “affiancata” allo spazio urbano fino a diventare, in molti casi, un’occupazione totale del costruito sulla natura.

L’uomo ha iniziato ad avere un impatto sull’ambiente già centinaia di anni fa, ma negli ultimi decenni il numero di persone che vivono sul nostro pianeta è aumentato esponenzialmente portando l’impatto ambientale a crescere anch’esso. Tutte le previsioni dicono che continuerà ad aumentare, per questo è importante ragionare sul mondo della progettazione in termini diversi, più vicini possibili all’edilizia ecosostenibile.

2.2.0 Le quattro fasi che compongono l’analisi LCA

Nell’edilizia i campi che incidono maggiormente, e negativamente, sull’ambiente sono: l’energia richiesta per il funzionamento dell’edificio e i materiali utilizzati per la costruzione di quest’ultimo¹⁰. Mentre per la prima causa si sono già ottenuti molti progressi con certificazioni e regolamentazioni ampiamente diffuse, sui materiali c’è ancora molta incertezza e scarso interesse.

È importante definire dei criteri per distinguere quale materiale sia più sostenibile, poiché le variabili in gioco sono tante e un prodotto che può essere ecologico in un determinato contesto e per un uso specifico, cambiando queste variabili può non esserlo più. Inoltre, è importante fare una distinzione tra materiali e prodotti edilizi: il secondo, generalmente, è un assemblaggio del primo e questa operazione può rendere il materiale meno ecologico di quanto fosse in partenza. Per avere una valutazione precisa e oggettiva si utilizza la LCA, perché permette di identificare se un materiale è da utilizzare o meno, poiché considera ciascuna variabile d’impatto per tutto il ciclo di vita dell’edificio e permette di poter comparare le diverse soluzioni progettuali.

La LCA è una metodologia composta da un’analisi che permette di definire, in maniera quantitativa e qualitativa, l’impatto ambientale di un prodotto (inteso anche come edificio) durante tutto il suo ciclo di vita. Le normative di riferimento sono la UNI EN ISO 14040 e 14044 e si occupano di:

- “UNI EN ISO 14040 (2006) Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Principi e quadro di riferimento.
- UNI EN ISO 14044 (2018) Valutazione del ciclo di vita , Requisiti e Linee guida.”¹¹

¹⁰ Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, p. 103.

¹¹ <https://www.csqa.it/CSQA/Norme/Sostenibilita-Ambientale/ISO-14040-LCA>

“La definizione specifica riportata nella norma ISO 14040 esprime la LCA come una “compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto”¹².

Le fasi di vita dell’edificio sono:

1. Raccolta delle materie prime
2. Processi di lavorazione dei prodotti edilizi
3. Trasporto materiali (anche nel punto 6)
4. Messa in opera dell’edificio
5. Manutenzione
6. Distruzione e disfacimento in discarica
7. Riciclo

La struttura della LCA si compone di 4 fasi¹³ (Figura 2):

1. Goal and scope definition;
2. Life Cycle Inventory Analysis;
3. Life Cycle Impact Assessment;
4. Life Cycle Interpretation;

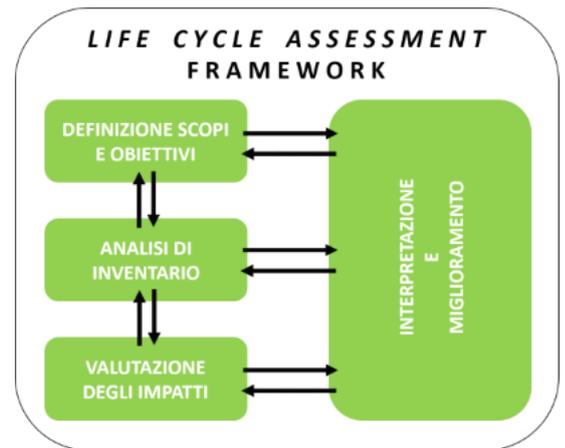


Figura 2: Life Cycle Assessment Framework¹⁴

Quando si parla della valutazione da analisi LCA è importante ricordarsi che:

- le analisi saranno in una certa misura semplificate, poiché le informazioni necessarie e le variabili in gioco sono così numerose da rendere essenziale la proposta di ipotesi e presupposti iniziali che semplifichino il problema;
- poiché la quantità di dati da considerare è importante, è fondamentale utilizzare strumenti informatici per i calcoli;
- I dati e le informazioni devono essere facilmente reperibili e il più universali possibili.

La PRIMA FASE¹⁵ consiste nella definizione degli obiettivi dello studio, operazione fondamentale perché permette di tracciare i confini della ricerca in funzione dei mezzi a disposizione e dei beneficiari finali.

¹² Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, p. 61.

¹³ *Ibid*, p. 62.

¹⁴ Fonte: <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>

¹⁵ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Ibid*, p. 65.

Inizialmente viene scelta un'unità di misura, detta Unità Funzionale, ovvero la prestazione ricercata in un prodotto. Accanto a questo parametro la normativa ISO 14040 introduce il concetto di Flusso di Riferimento (Reference Flow): “tale flusso di riferimento è in pratica la quantità di bene o di servizio necessario per ottenere l'unità funzionale scelta”¹⁶.

Un altro passaggio importante è la definizione dei Confini del Sistema, che servono per delimitare il campo di studio attraverso criteri geografici, tecnologici e temporali. “Tutte queste informazioni, che vanno a costituire le fondamenta preliminari su cui impostare l'intera analisi, vengono raggruppate, secondo la ISO 14040, nel cosiddetto “campo di applicazione dello studio” che rappresenta pertanto una sorta di carta di identità con i requisiti, i limiti e le ipotesi iniziali con cui l'analista intende affrontare la ricerca”¹⁷.

La SECONDA FASE¹⁸ è dedicata all'analisi d'inventario e rappresenta un po' il cuore dell'intera metodologia: si costruisce un modello della realtà in cui compaiono i dati di input e di output scambiati all'interno del sistema, raccolti e organizzati secondo un diagramma di flusso (flowchart). All'interno del diagramma gli *Inflows*, ovvero i flussi in entrata, e sono rappresentati dalle materie prime, dall'acqua e dall'energia. E poi vi sono gli *Outflows*, ovvero i prodotti per cui si fa l'analisi, i rifiuti e le emissioni che ne derivano¹⁹.

In questa fase si descrive tutto il ciclo di vita del prodotto, analizzando le varie attività (estrazione materie, produzione, trasporto, costruzione, disfacimento) e i relativi dati associati. Si tratta di una fase preparatoria in cui è importante l'organizzazione e l'affidabilità dei dati. Per reperire le informazioni necessarie si utilizzano le banche dati, spesso legate alla nazione d'origine e quindi non proprio universali. È un procedimento complesso e dispendioso in termini di tempo, per cui normativa fornisce un codice per la redazione dell'inventario. Per quest'ultimo è importante considerare anche la gestione della “fine di vita” dei materiali e lo smaltimento dei rifiuti, che non hanno solo un impatto ambientale, ma anche economico e sociale.

La TERZA FASE²⁰ è detta Life Cycle Impact Assessment consiste nella valutazione dell'impatto ambientale ed è regolata dalle norme ISO 14040 e 14044. In questa fase si valuta, in modo effettivo, l'impatto ambientale dei prodotti analizzati.

¹⁶ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, p. 70.

¹⁷ *Ibid*, p. 73.

¹⁸ *Ibid*, p. 95.

¹⁹ Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, p. 131.

²⁰ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Ibid*, p. 153.

I passaggi obbligatori di una LCIA sono²¹:

1. Scelta del metodo di valutazione;
2. Scelta delle categorie d'impatto da considerare per l'analisi, tenendo conto delle condizioni al contorno, della qualità dei dati;
3. Caratterizzazione: si determinano i valori degli impatti;
4. Normalizzazione (facoltativo).

Un prodotto può avere valori positivi in una categoria, e negativi in un'altra: quindi sarebbe sempre meglio calcolare e analizzare i valori ottenuti di tutte le categorie, in modo da avere un quadro d'insieme completo e poter fare delle valutazioni più chiare e oggettive.

Vengono così considerati l'emissione delle sostanze nocive, la loro propagazione nell'ambiente e l'immissione di agenti inquinanti risultanti. Si ottengono i valori degli impatti grazie alla fase precedente di analisi di inventario e poi si definiscono gli effetti ambientali corrispettivi, stimati in base a ipotesi e convenzioni scelte. Gli effetti ambientali vengono catalogati in categorie d'impatto, a ognuna di queste viene associato un parametro rappresentativo.

Le categorie d'impatto ambientale, descritte e riportate dal libro *Life Cycle Assessment in edilizia*²², sono:

1. Effetto serra (GWP) in g di CO₂ equivalenti
2. Riduzione della fascia di ozono (ODP) in g di CFC₁₁ equivalenti
3. Formazione di smog fotochimico (POCP) in g di C₂H₄ equivalenti
4. Acidificazione (AP) in g di SO₂ equivalenti
5. Eutrofizzazione (EP) in g di O₂ e PO₄ equivalenti
6. Tossicità per l'uomo in g di 1,4-DBC equivalenti
7. Tossicità permanente in m³ di aria, acqua e suolo
8. Consumo di energia in MJ
9. Consumo di materie prime in g
10. Consumo di acqua in g
11. Salute umana in g di VOC e di PM₁₀
12. Rifiuti in g
13. Smog in g
14. Sostanze pericolose in g di Hg e PAH

²¹ Cfr. Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA : gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, pp. 171-173; e Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano, 2008, p. 135.

²² Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, p. 135.

Non tutte le categorie vengono sempre prese in considerazione, ciascun metodo di valutazione ha una lista definita di parametri d'impatto ambientale calcolati e alcuni di questi²³ sono:

- CML1992 (Olanda)
- CML2000 (Olanda)
- Cumulative Energy Demand
- Eco-indicator 99 (Olanda)
- IPCC 2001
- EDIP/UMIP 97 (Danimarca)
- EPD 2007
- IMPACT 2000+
- EPS 2000 (Svezia)

La QUARTA FASE²⁴ rappresenta il momento in cui si raggruppano i risultati ottenuti e si definisce l'entità degli impatti ambientali così da poter proporre interventi o segnalazioni in funzione dei goal prefissati all'inizio dell'analisi. La LCA può essere fatta per comparare scelte progettuali, ma deve essere completa perché sia efficace, in più sono necessari dei termini di confronto per capire se l'impatto è effettivamente basso o meno²⁵.

2.2.1 Parametro GWP - Global Warming Potential

Tra le categorie d'impatto quello considerato in questa tesi è il GWP, il Global Warming Potential.

“Il GWP è la misura, basata sulla concentrazione e sul periodo di esposizione, del potenziale contributo che una sostanza arreca all'effetto serra, rispetto a quello provocato dallo stesso peso di anidride carbonica. [...] Detto GWP_i il potenziale di riscaldamento global della sostanza i -esima e “ m_i ” la massa della sostanza stessa, il potenziale complessivo risultante sarà dato dalla relazione:

$$GWP = \sum GWP_i \cdot m_i^{26}$$

²³ Lista riportata da Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, pp. 137-139.

²⁴ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, p. 187.

²⁵ Cfr. Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, p. 137.

²⁶ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, p. 174.

I GWP vengono calcolati in tempi-orizzonte, che si identificano in periodi di esposizione, e possono avere una durata di 100, 200 o 500 anni²⁷.

2.2.2 Le Certificazioni ambientali

Le certificazioni ambientali sono ormai diffuse nel campo dell'edilizia e se ne possono trovare di diverso tipo: ci sono le certificazioni obbligatorie, quelle fatte volontariamente, quelle di carattere nazionale e quelle internazionali. Una delle prime diffuse è stata l'Ecolabel²⁸, una certificazione ambientale del nord Europa (Germania e paesi Scandinavi) nata per quantificare in maniera oggettiva l'impatto ambientale dei singoli prodotti e permettere così ai consumatori di scegliere quelli migliore per l'ambiente. L'Ecolabel è diventata in seguito un'etichetta europea, vista la necessità di avere un unico sistema di classificazione uguale per tutta l'Europa, anche se i sistemi di etichettatura delle singole nazioni continuavano ad essere utilizzati.

Un'altra etichetta ambientale è L'EPD Environmental Product Declaration (Dichiarazione ambientale di prodotto)²⁹ è voluta dal produttore stesso e certificata tramite un controllo di verifica di un ente terzo. Si ottiene tramite la valutazione LCA ed è organizzata tramite criteri e regole predefinite. La valutazione ambientale complessiva dell'edificio è data dalla somma di tutti i valori delle categorie d'impatto di ciascun prodotto: avere a disposizione un elenco delle EPD dei singoli componenti rende l'operazione di valutazione dell'edificio più facile e veloce, senza dover così andare a calcolare ogni volta i valori di ogni singolo prodotto e sommarli poi tutti.

2.2.3 Le banche dati per l'analisi LCA

Le banche dati per la LCA sono degli archivi informatizzati che contengono quelli che sono definiti "dati secondari", ovvero dati non rilevati direttamente ma presi da fonti terze. Le banche dati sono generalmente nazionali, quindi la lista dei materiali presenti dipende dalla richiesta e dall'utilizzo di quest'ultimi nel singolo stato.

²⁷ Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano 2008, p. 174.

²⁸ Cfr. Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, pp. 142-143.

²⁹ Cfr. *Ibid*, p. 144.

Le Banche dati più utilizzate, dal libro *Life Cycle Assessment in edilizia*³⁰, sono:

- APME
- ECOINVENT
- IDEMAT
- BUWAL250
- FRANKLIN
- I-LCA

Mentre alcuni dei Codici di calcolo LCA per progettisti, sempre dal libro *Life Cycle Assessment in edilizia*³¹, sono:

- BOUSTEAD (*Inghilterra*)
- ECO-it (*Olanda*)
- GaBi (*Germania*)
- SIMAPRO (*Olanda*)
- TEAM (*Francia*)
- Umberto (*Olanda*)
- ATHENA (*Canada*)

Nei capitoli successivi viene descritto e utilizzato il plugin per la valutazione LCA Tally. Quest'ultimo si avvale del codice calcolo GaBi, un software tedesco per la LCA, in grado di calcolare gli impatti dei prodotti utilizzando la propria banca dati.

³⁰ Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano 2008, p. 162.

³¹ Cfr. *Ibid*, p. 163.

2.3 Analisi dello stato dell'arte delle metodologie di integrazione BIM-LCA

Lo scopo di questo studio è quello di calcolare il valore del parametro d'impatto GWP sull'impianto Lastratura FCA di Mirafiori. Il parametro in questione, così come l'analisi LCA, è legato al materiale, alla geometria e alle quantità. Se quest'analisi venisse fatta su un semplice oggetto di dimensioni modeste e di un solo materiale (esperimento fatto nel capitolo successivo), il calcolo risulterebbe essere relativamente veloce e semplice. Quando siamo davanti al caso più comune di un edificio composto da tanti materiali in diverse quantità e tanti componenti, il calcolo inizia a diventare molto più complicato e laborioso.

Per risolvere questo problema è necessario ricorrere all'utilizzo di softwares di calcolo e della metodologia BIM. Il primo passo è stato, quindi, quello di studiare lo stato dell'arte dell'integrazione tra le metodologie BIM e LCA in letteratura, poi si è passati a individuare i procedimenti finora utilizzati ed è stata scelta una strategia da cui prendere spunto. Quando si parla d'integrazione BIM-LCA generalmente si intende quella tra la rappresentazione digitale del modello (BIM model) e la metodologia di analisi LCA che necessita di un'importante quantità di dati.

Il modello BIM, per definizione, contiene al suo interno tutte le informazioni necessarie per identificare e studiare l'edificio lungo tutto il suo ciclo di vita. L'analisi LCA può essere effettuata tramite un LCA software o tramite plugin presenti direttamente dentro il BIM model.

Come già accennato prima, quando si tratta di un edificio complesso i dati da processare sono molti e avere come supporto un modello parametrico BIM rende tutte le operazioni di calcolo molto più veloci: per questo l'integrazione BIM-LCA è diventato un trend nel campo delle costruzioni poiché permette di risolvere il problema più gravoso di quando si effettua l'analisi LCA: il time consuming. Nella tabella in allegato (vedere allegato 2) sono catalogati e analizzati 16 articoli tra i numerosi finora pubblicati. Questa ricerca è stata fondamentale per poter proporre una nuova metodologia che cerchi di risolvere i problemi riscontrati dagli autori degli articoli analizzati.

Ad esempio: nello scritto di Rúben Santos, Antonio A. Costa, José D. Silvestre, Lincy Pyl dal titolo *A validation study of a semi-automatic BIM-LCA TOOL*³² si valida, tramite un caso studio, un plugin di Revit utile per l'integrazione semi-automatica di BIM-LCA, chiamato Tally.

Come si evincerà dal capitolo successivo questo sarà il plugin utilizzato nella nuova metodologia per il caso studio dell'impianto di lastratura.

³² Santos R., A. Costa A., D. Silvestre J., Pyl L., *A validation study of a Semi-Automatic BIM-LCA tool*, 2° Congresso Português de Building Information Modelling, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal, 05-2018.

In questo scritto si descrive Tally come uno dei plugin più integrati con Revit grazie al buon livello di interoperabilità: il plugin riconosce gli elementi di Revit, il tipo e la geometria ma non riconosce i materiali scelti sul modello, bisogna infatti assegnarli a mano successivamente, per questo il calcolo è da considerarsi semi-automatico. L'articolo sottolinea anche un'altra mancanza di Tally: il database dei materiali è limitato (e basato soprattutto su prodotti comuni negli Stati Uniti) e non è modificabile, altro problema che verrà affrontato nei capitoli seguenti. La loro metodologia (Figura 3) si basa quindi sull'utilizzo di Revit e di Tally insieme, e nel caso in cui i materiali di riferimento non siano presenti su Tally le informazioni ambientali di quest'ultimi vengono inserite manualmente dagli autori. Infine, viene utilizzato un altro plugin di Revit, Dynamo, che permette di estrapolare un resoconto finale dei valori ambientali direttamente su Excel. Questa metodologia, in particolare l'utilizzo di Dynamo, verrà presa come spunto per formulare quella finale di questa tesi.

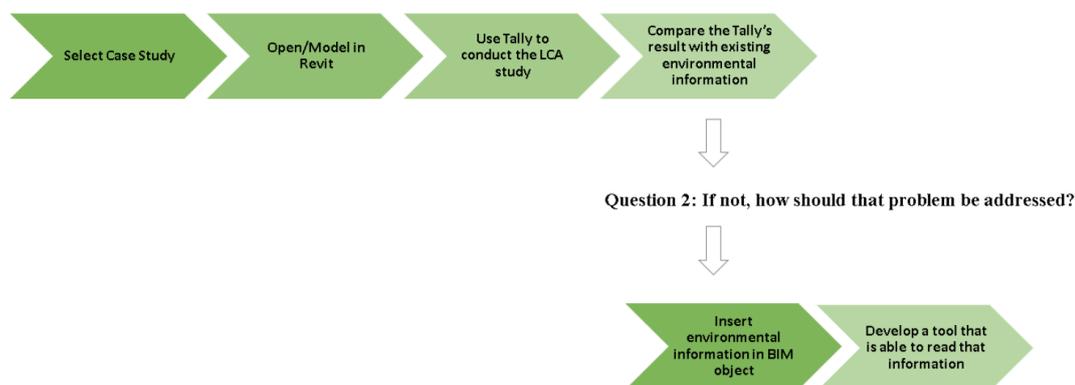


Figura 3: Metodologia d'integrazione sviluppata nell'articolo A validation study of a semi-automatic BIM-LCA TOOL³³

Nell'articolo di Joanna Rucińska, Anna Komerska e Jerzy Kwiatkowski dal titolo *Preliminary study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland using the LCA Approach*³⁴ viene calcolato un possibile range del valore totale del parametro GWP del caso studio. Interessante è la considerazione di tutti gli stadi del ciclo di vita dell'edificio per capire quale è più impattante. Nella tesi portata avanti in queste pagine, purtroppo, l'unico stage a cui possiamo fare riferimento è quello della manutenzione, poiché l'edificio del caso studio è stato costruito diversi decenni fa.

Nell'articolo di Tajda Potrč Obrecht, Martin Röck, Endrit Hoxha e Alexander Passer, dal titolo *BIM and LCA integration: A Systematic Literature Review*³⁵ si può trovare uno studio dettagliato della

³³ Santos R., A.Costa A., D. Silvestre J., Pyl L., *A validation study of a Semi-Automatic BIM-LCA tool*, 2° Congresso Português de Building Information Modelling, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal, 05-2018.

³⁴ Rucińska J., Komerska A., Kwiatkowski J., *Preliminary Study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland using the LCA Approach*, *Energies*, 13, 13, 2020, 329.

³⁵ Potrč Obrecht T., Röck M., Hoxha E., Passer A., *BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review*, *Sustainability*, 12, 14, 2020, 5534.

letteratura presente, fino al 2020, sull'integrazione BIM-LCA. Questo articolo mostra i metodi di scambio informazioni più utilizzati (manuale tramite BoQ, semi automatico o automatico tramite i plugin) e li divide in due categorie: quello in cui le informazioni vengono immesse nel modello di Revit manualmente o tramite Dynamo, e il secondo dove tutte le operazioni avvengono attraverso la comunicazione di dati tra il BIM tool e il LCA tool (Figura 4).



Figura 4: approcci d'integrazione BIM-LCA dal testo BIM and LCA integration: A Systematic Literature Review³⁶

Il più utilizzato è la seconda categoria, scelta anche in questa tesi, con l'aggiunta però della prima categoria come step finale aggiuntivo. L'articolo presenta altre informazioni quali: i tools utilizzati, il formato di scambio, le fasi dell'edificio, le categorie d'impatto, i LOD e i database di riferimento, tutte informazioni utili alla comprensione del tema affrontato.

Nello scritto di Tiziano Dalla Morra, Erika Bolzonello, Carmine Cavalliere e Fabio Peron, dal titolo *Key Parameters Featuring BIM-LCA integration in buildings: a practical review of the current trends*³⁷, vengono presentate le strategie d'integrazione formulate dagli autori, individuando i *parametri chiave* protagonisti delle diverse metodologie.

Secondo gli autori i *parametri chiave* sono: la fase di progetto del modello BIM, il LOD che definisce il tipo e la quantità di informazioni presenti in ciascun elemento, i tools, l'impatto ambientale, l'unità funzionale, i LCA database (Figura 5) e infine i lifecycle stages.

L'ultimo articolo è quello di Wastiels L. e Decuyper R. dal titolo *Identification and comparison of LCA-BIM integration*³⁸, dal quale è stata estrapolata la bozza della metodologia per il case study di questa tesi. Lo studio delle strategie proposte dall'articolo e gli sviluppi della metodologia scelta verranno affrontati nel capitolo successivo.

Da una lettura generale dello stato dell'arte sull'integrazione BIM-LCA i problemi rilevati sono:

- L'interoperabilità tra BIM model e LCA software/plugin che se difettosa causa perdita di dati e informazioni;

³⁶ Potrč Obrecht T., Röck M., Hoxha E., Passer A., *BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review*, Sustainability, 12, 14, 2020, 5534.

³⁷ Dalla Mora T., Bolzonello E., Cavalliere C., Peron F., *Key Parameters featuring BIM-LCA Integration in Buildings: a practical review of the current trends*, Sustainability, 12, 17, 2020, 7182.

³⁸ Wastiels L., Decuyper R., *Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Sustainable built environment conference 2019 (SBE19 Graz), 323, 09-2019, 012101.

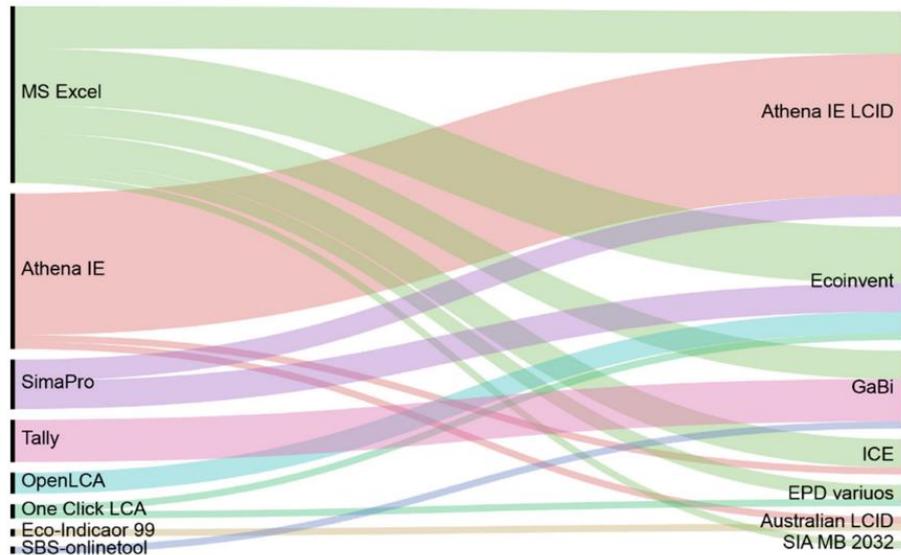


Figura 5: Grafico sul risultato dello studio delle relazioni, tramite linee colorate, tra LCA database e tools³⁹

- Le diverse banche dati (di diverse nazioni) e metodi di calcolo utilizzati dai LCA tool restituiscono risultati diversi tra loro;
- I plugin hanno un database di materiali limitato e spesso impossibile da modificare;
- l'analisi LCA viene solitamente fatta nella fase finale del progetto, quando l'edificio è già costruito, mentre sarebbe più utile farla all'inizio, nella prima fase di progettazione come strumento per scegliere i materiali e le strategie più vantaggiose per raggiungere un adeguato livello di sostenibilità.

³⁹ Dalla Mora T., Bolzonello E., Cavalliere C., Peron F., *Key Parameters featuring BIM-LCA Integration in Buildings: a practical review of the current trends*, Sustainability, 12, 17, 2020, 7182.

3.0 ELABORAZIONE STRATEGIA PER L'INTEGRAZIONE DELLE METODOLOGIE BIM E LCA

3.1 Scelta e sviluppo della strategia iniziale

Come accennato nel capitolo precedente, la metodologia di integrazione BIM-LCA formulata in questa tesi è frutto di uno studio di altre metodologie presenti in letteratura.

In particolare, l'articolo da cui è stata estrapolata la prima bozza è quello di Wastiels L., Decuypere R. dal titolo *Identification and comparison of LCA-BIM integration*⁴⁰.

Questo studio, presentato durante una conferenza a Graz nel 2019, propone 5 diverse strategie di integrazione BIM-LCA, analizzando i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna: è un lavoro interessante poiché, di solito, gli articoli di questo genere ne propongono una soltanto. Inoltre, queste strategie aumentano di difficoltà e di precisione, permettendo di ottenere una soluzione per tutte le diverse situazioni in cui il professionista si può trovare davanti. Per fare una LCA, infatti, è fondamentale avere le risorse adatte e le personalità in grado di utilizzarle: nelle cinque strategie proposte i procedimenti richiedono diverse competenze e attrezzature, a seconda delle disponibilità dei professionisti. All'inizio dell'articolo gli autori individuano 6 passaggi fondamentali per progettare un edificio in BIM, in modo da poterlo poi utilizzare per fare una LCA. Questi, ripresi dall'articolo di Wastiels e Decuypere⁴¹, sono:

- 1) *Modelling*: creazione del modello parametrico BIM;
- 2) *Setting up a bill of quantities or BOQ*: preparazione della lista di quantità, materiali e geometriche, di ciascun elemento;
- 3) *Establishing LCA profiles*: si stabiliscono i profili LCA che racchiudono il valore e l'identificazione dell'impatto ambientale dei materiali;
- 4) *LCA profile attribution*: a ogni materiale presente nella lista BOQ deve essere attribuito un profilo LCA;
- 5) *Calculation of the environmental impact*: grazie agli step 2,3 e 4 e alla metodologia LCA del tool di calcolo si può ottenere il valore della LCA;
- 6) *Visualization and analysis*: I risultati vengono visualizzati e analizzati;

Inoltre, vengono identificati 4 tipi di tools necessari per completare una verifica LCA nelle cinque strategie: *Native BIM software*, *BIM viewer*, *LCA software*, *LCA plugin for native BIM software* (Figura 6).

⁴⁰ Wastiels L., Decuypere R., *Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Sustainable built environment conference 2019 (SBE19 Graz), 323, 09-2019, 012101.

⁴¹ *Ibid.*

	Modelling	Setting up BOQ	Establishing LCA profiles	LCA profile attribution	Calculation of env. impact	Visualization and analysis
Native BIM software	✓	✓				(✓)
BIM viewer		✓		(✓)		(✓)
LCA software			✓	✓	✓	✓
LCA plugin for native BIM software		✓		✓	✓	✓

Figura 6: Tabella riassuntiva degli step della LCA in relazione al tipo di Tool⁴²

le cinque strategie presentate dagli autori sono riassunte nella figura 7:

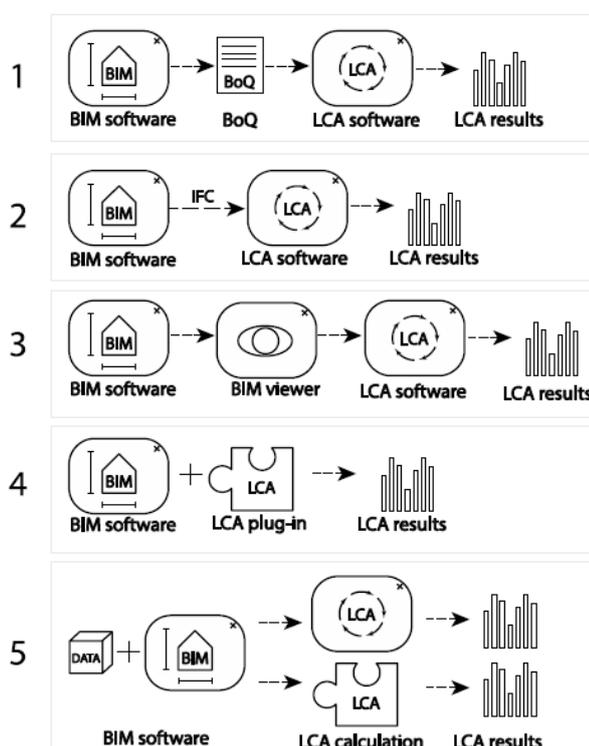


Figura 7: Strategie di integrazione BIM-LCA⁴³

Le prime tre strategie utilizzano entrambe un BIM e un LCA software e si differenziano per la modalità di trasmissione e visualizzazione dei dati (BoQ, IFC e BIM viewer). Le ultime due, invece, introducono il plugin LCA e una diversa impostazione dei dati all’inizio dell’analisi. Per decidere quale strategia utilizzare come punto di partenza, per la formulazione della nuova metodologia, sono state analizzate le cinque strategie secondo diversi parametri. I risultati sono schematizzati nella Tabella 1 e 2.

⁴² Wastiels L., Decuypere R., *Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Sustainable built environment conference 2019 (SBE19 Graz), 323, 09-2019, 012101.

⁴³ Potrč Obrecht T., Röck M., Hoxha E., Passer A., *BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review*, Sustainability, 12, 14, 2020, 5534.

PARAMETRI	OPEN BIM	NATURA EDIFICIO	AGGIORNABILITÀ DEL DATO	INTEROPERABILITÀ tra software	TEMPISTICHE TOTALI LAVORO	Precisione LCA profiles
STRATEGIA 1	si	nuovo/esistente	no	no/si	lunghe	bassa
STRATEGIA 2	si	nuovo/esistente	si	si	medio veloci	media
STRATEGIA 3	si	nuovo/esistente	si	si/no	lunghe	alta
STRATEGIA 4	si	nuovo/esistente	si	si	veloci	media
STRATEGIA 5	si	nuovo/esistente	si	si	medie	alta

Tabella 1: Tabella parametri di studio per la scelta della strategia d'integrazione BIM-LCA

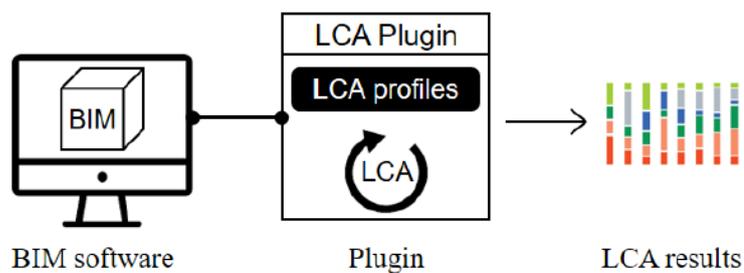
I parametri elencati nelle tabelle, ideati arbitrariamente, ci dicono che le strategie più complete e più “avanzate” sono la quattro e la cinque. La seconda tabella è stata ideata per capire quali siano effettivamente i passaggi da fare manualmente dai singoli professionisti per ciascuna strategia e, quindi, quanto tempo e competenze richiedono. I risultati sono presenti nella Tabella 2:

PASSAGGI dell'utente (manuali)*	MODELLAZIONE BIM	Preparazione+ importazione BOQ	IMPORTAZIONE E info modello su softwares	ATTRIBUZIONE profili LCA	CALCOLO LCA, visualizzazione e analisi RISULTATI
STRATEGIA 1	x	x	x	x	
STRATEGIA 2	x		x	x	
STRATEGIA 3	x		x	x	
STRATEGIA 4	x				
STRATEGIA 5	x		/		

*le caselle vuote sono passaggi fatti direttamente dal software

Tabella 2: Tabella passaggi manuali dell'utente nelle diverse strategie

Anche da questa si evince come le strategie 4 e 5 siano le migliori poiché sono più veloci e più automatiche. Si può quindi definire la strategia 5 come l'evoluzione della strategia 4.



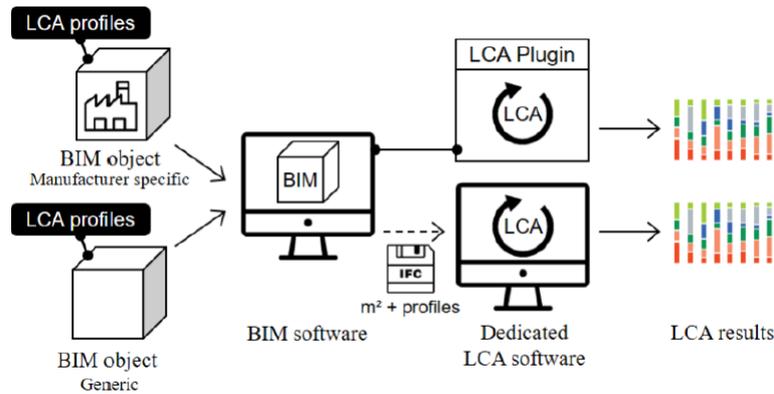


Figura 8: In alto workflow strategia 4, in basso workflow strategia 5⁴⁴

Infatti, nella 4 le quantità e i materiali vengono reperiti direttamente dal plugin grazie all'interoperabilità con Revit. I profili LCA vengono anch'essi attribuiti direttamente dal plugin, il quale effettua anche l'analisi. Nella 5, invece, vengono inclusi i dati LCA nei BIM objects prima che questi vengano incorporati al modello BIM, invece di essere attribuiti nello step successivo (Figura 8). I valori risultanti dall'analisi della strategia 5 saranno più dettagliati poiché non si è costretti a utilizzare il database limitato dei plugins.

La strategia 5 è dunque più completa e dettagliata, tuttavia richiede dei dati che non sempre sono disponibili, specialmente se si tratta di edifici già costruiti da diversi anni. I BIM objects, infatti, possono contenere al loro interno i dati LCA definiti dall'azienda produttrice, ma quest'ultimi è una prassi recente e quindi questi dati specifici non sono facilmente reperibili per tutti i materiali in circolazione. Il caso studio, a cui verrà applicata la nuova metodologia, è un edificio costruito negli anni 50, per questo i dati LCA sopra citati non esistono. Viene scelta quindi la strategia 4 come punto di partenza, meno precisa della strategia 5 ma più veloce e più versatile.

È stata così formulata la nuova metodologia che, ispiratasi alla strategia 4 sopra citata, è divisa in tre passaggi (Figura 9):

- 1) Disegno del modello BIM tramite BIM tool
- 2) Attribuzione dei profili LCA e calcolo parametro GWP tramite plugin LCA
- 3) Analisi dati ottenuti dal plugin su Excel

Successivamente sono stati definiti i tool e i plugin da utilizzare per compiere l'analisi: come BIM tool è stato scelto Autodesk Revit poiché è il più conosciuto, il più utilizzato e ha un'ottima interoperabilità con diversi LCA tool.

⁴⁴ Wastiels L., Decuypere R., *Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Sustainable built environment conference 2019 (SBE19 Graz), 323, 09-2019, 012101.

Per il plugin LCA la scelta è stata indirizzata su due plugin, entrambi ampiamente utilizzati e interoperabili con Revit: One Click LCA e Tally. Nel capitolo seguente è stata eseguita una prova per definire quale dei due fosse più adatto all'utilizzo sul caso studio di questa tesi.



Figura 9: Workflow metodologico iniziale

3.2 Presentazione dei plugin per la valutazione LCA: Tally e One Click LCA

Come accennato nel capitolo precedente, per la formulazione della metodologia è stato necessario selezionare un plugin LCA da utilizzare per il calcolo del parametro GWP dell'impianto di Lastratura. Tra tutti i plugin disponibili sul mercato ne sono stati selezionati due: Tally e One click LCA. Per decidere quale utilizzare è stata eseguita una prova su tre muri composti ciascuno da un unico materiale, su cui è stata fatta l'analisi LCA e calcolato il valore del parametro GWP tramite entrambi i plugin. La prova è descritta nel paragrafo 3.3, i risultati e i procedimenti dei plugin sono stati raccolti e analizzati nei paragrafi 3.2.1 e 3.2.2.

3.2.1 Studio del plugin Tally

Tally è un'applicazione di Revit Autodesk che permette, tramite il plugin, di calcolare l'impatto ambientale dell'edificio tramite l'assegnazione dei materiali dei Tipi, individuati dal plugin sul modello, con i materiali presenti sul database di Tally.

Il plugin si può scaricare dal sito di Autodesk in prova gratuita o tramite licenza (in questo caso è stata concessa la licenza studenti gratuita). L'interfaccia grafica è semplice e intuitiva: aprendo il plugin si possono selezionare direttamente le categorie del progetto da includere nell'analisi e la fase del progetto a cui si vuole far riferimento, come in figura 10. Successivamente si procede aprendo la scheda delle Famiglie e per ultima la scheda dei Tipi presenti nel progetto (a cui è stato associato un materiale sul modello Revit) con la lista dei relativi materiali da assegnare (cliccando sopra il nome con il tasto destro e successivamente su *edit*) come in figura 11. Tramite la legenda a colori (Figura 11) si può individuare velocemente, tra le diverse opzioni, quali materiali non sono ancora stati assegnati (giallo) e quando invece il lavoro è ultimato (verde). Una volta cliccato *Edit* comparirà una lista di materiali presenti sul database di Tally, pronti per essere assegnati ai materiali del progetto (figura 12). A fianco della lista compare una scheda con le informazioni di composizione del materiale selezionato.

Nella figura 13 si può notare come il plugin spesso richieda informazioni dettagliate, da assegnare manualmente, sulla composizione dei materiali.

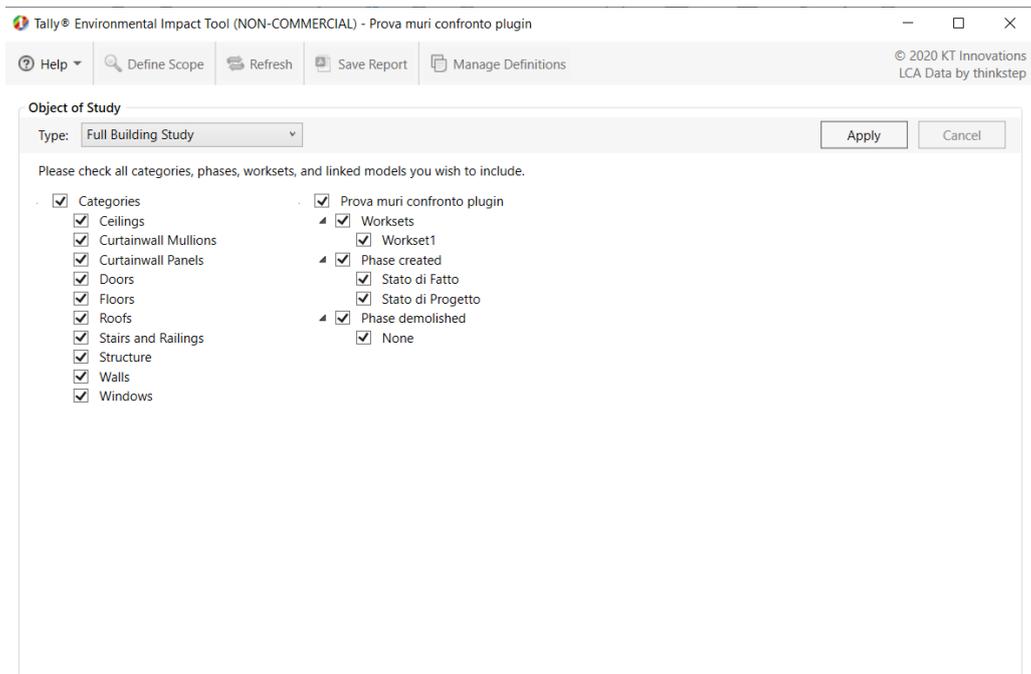


Figura 10: Interfaccia iniziale plugin Tally

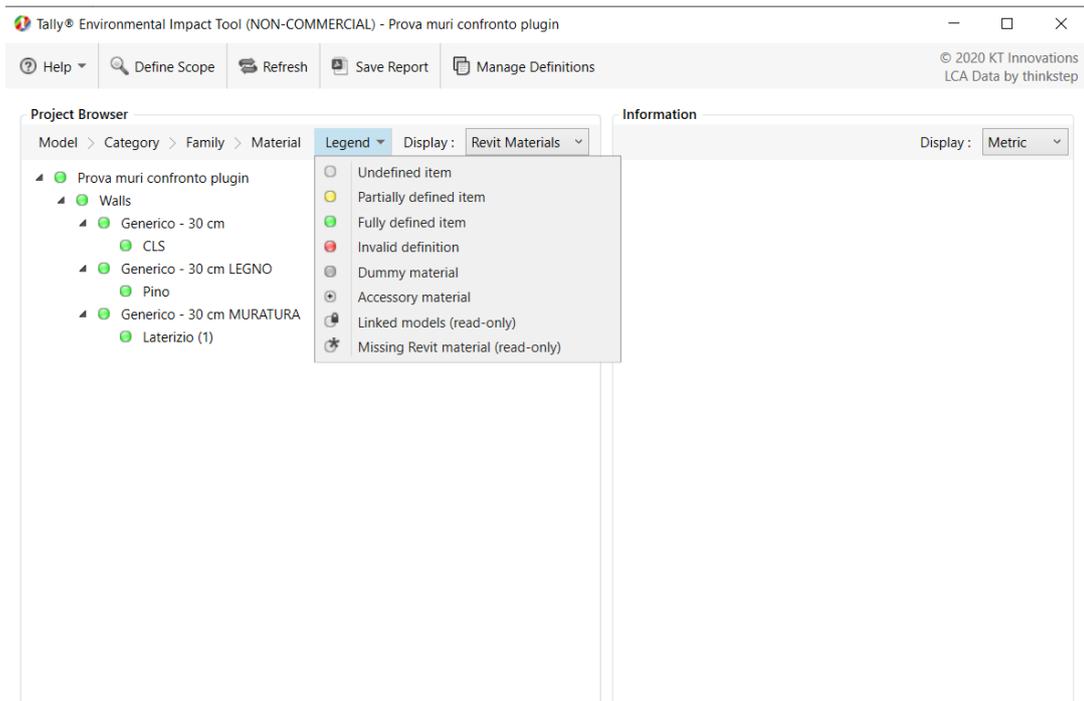


Figura 11: Scheda Categoria-Famigli-Tipi-Materiali Tally con legenda stato assegnazione materiale

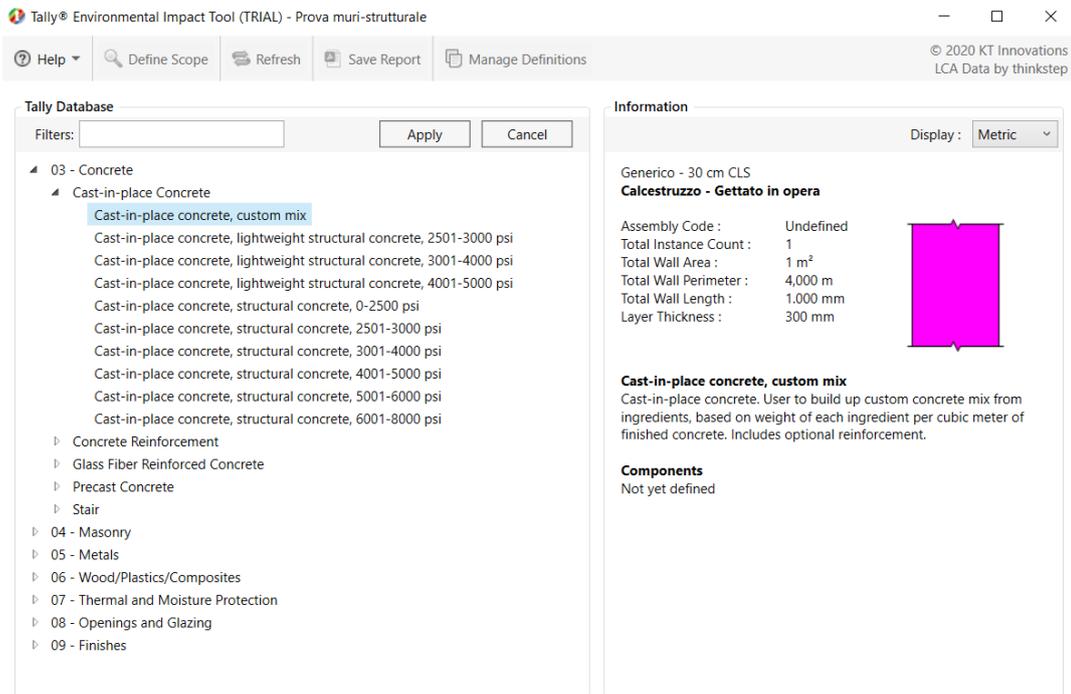


Figura 12: Lista materiali presenti sul database Tally con scheda composizione materiale

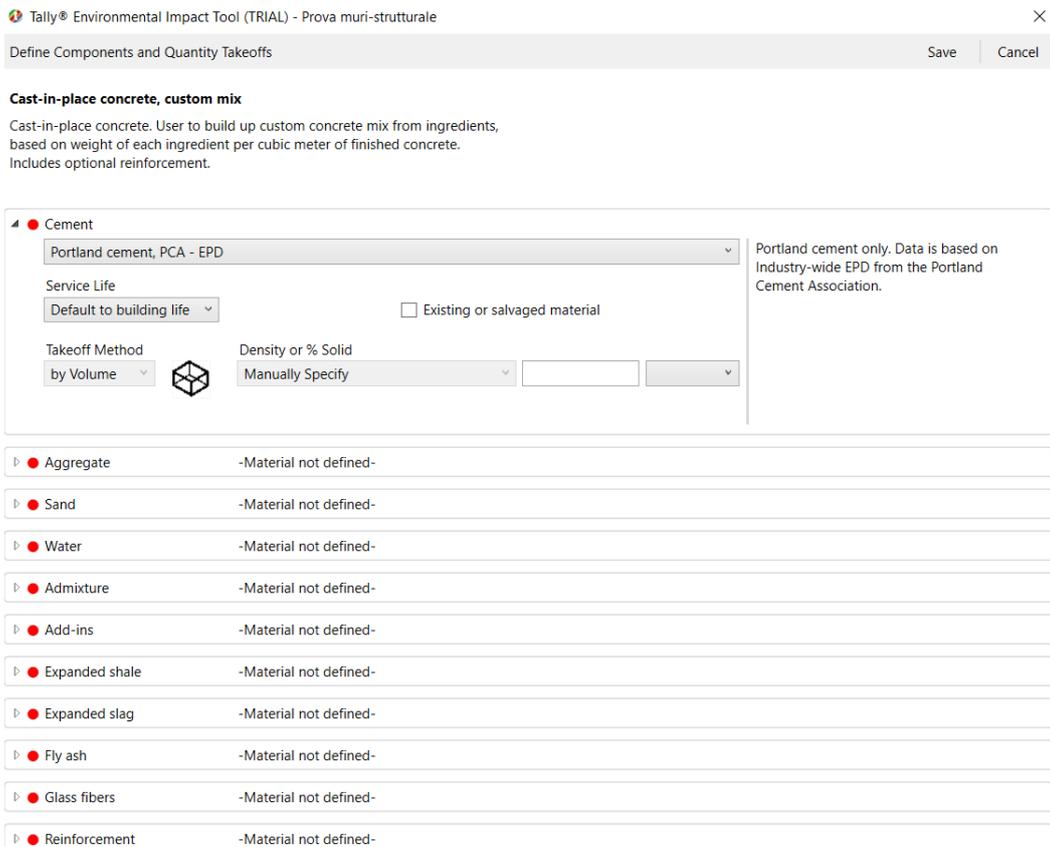


Figura 13: Scheda composizione materiale su Tally

Figura 14: Scheda informazioni progetto

Una volta assegnati tutti i materiali si compila una scheda con le informazioni del progetto e, cliccando su *Save* (figura 14), il plugin completerà l'analisi e la restituirà in due modalità:

- Report in pdf, in cui è presente un indice dei contenuti, le informazioni generali del progetto, i valori degli indicatori di impatto ambientale, divisi per fase di progetto, i grafici delle categorie di studio, la descrizione della metodologia di calcolo e la definizione degli LCI data; (figura 15, 16, 17 e 18)
- File Excel con 16 fogli all'interno: nel primo foglio sono presenti le informazioni generali (come nel report in pdf) e poi in quelli successivi i valori degli indicatori di impatto ambientale divisi per categorie di studio.

I gruppi di divisione, presenti in entrambi i documenti con i risultati dell'analisi, sono:

- per fase del ciclo di vita
- per divisione/ripartizione dei materiali
- per le categorie di Revit (con suddivisione anche in Famiglie e Tipi)
- per l'intero edificio (riassuntivo)

Report Summary

Created with Tally Trial Version 2020.06.09.01		Goal and Scope of Assessment Prova di confronto_tally
Author	:249893	
Company	Polito	
Date	19/02/2021	
Project	Nome	
Location	Torino	
Gross Area	0.9 m ²	
Building Life	60 years	
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes	

Figura 15: Report finale in .pdf - Tally

	Product Stage [A1-A3]	Construction Stage [A4]	Use Stage [B2-B5]	End of Life Stage [C2-C4]	Module D [D]
Environmental Impact Totals					
Global Warming (kg CO ₂ eq)	-112	10,23	0,6911	242,4	18,13
Acidification (kg SO ₂ eq)	0,9794	0,04741	0,001541	0,9588	-0,1181
Eutrophication (kg Neq)	0,04522	0,00386	1,663E-004	0,2251	-0,004783
Smog Formation (kg O ₃ eq)	13,92	1,567	0,04346	5,139	-1,18
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	3,024E-007	3,504E-013	9,938E-012	6,367E-012	-2,557E-010
Primary Energy (MJ)	6,296	148,8	18,00	548,9	-854
Non-renewable Energy (MJ)	3,684	145,2	17,65	513,9	-491
Renewable Energy (MJ)	2,623	3,598	0,3646	35,48	-365
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO ₂ eq/m ²)	-12,4	1,137	0,07679	26,93	2,014
Acidification (kg SO ₂ eq/m ²)	0,1088	0,005267	1,712E-004	0,1065	-0,01312
Eutrophication (kg Neq/m ²)	0,005024	4,289E-004	1,848E-005	0,02501	-5,315E-004
Smog Formation (kg O ₃ eq/m ²)	1,546	0,1741	0,004829	0,571	-0,1314
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m ²)	3,360E-008	3,893E-014	1,104E-012	7,074E-013	-2,841E-011
Primary Energy (MJ/m ²)	699,6	16,53	2,000	60,99	-94,9
Non-renewable Energy (MJ/m ²)	409,3	16,14	1,961	57,10	-54,6
Renewable Energy (MJ/m ²)	291,4	0,3997	0,04051	3,942	-40,6

Figura 16: Report finale in .pdf di Tally-Valori parametri impatto ambientale per le diverse fasi di progetto

Calculation Methodology

ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORIES

A characterization scheme translates all emissions and fuel use associated with the reference flow into quantities of categorized environmental impact. As the degree that the emissions will result in environmental harm depends on regional ecosystem conditions and the location in which they occur, the results are reported as impact potential. Potential impacts are reported in kilograms of equivalent relative contribution (eq) of an emission commonly associated with that form of environmental impact (e.g. kg CO₂eq).

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme, the environmental impact model developed by the US EPA to quantify environmental impact risk associated with emissions to the environment in the United States. TRACI is the standard environmental impact reporting format for LCA in North America. Impacts associated with land use change and fresh water depletion are not included in TRACI 2.1. For more information on TRACI 2.1, reference Bare 2010, EPA 2012, and Guinée 2001. For further description of measurement of environmental impacts in LCA, see Simonen 2014.

Acidification Potential (AP) kg SO₂eq Smog Formation Potential (SFP) kg O₃eq

LCI Data

END-OF-LIFE [C2-C4]

A Life Cycle Inventory (LCI) is a compilation and quantification of inputs and outputs for the reference unit. The following LCI provides a summary of all energy, construction, transportation, and material inputs present in the study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur, along with any notes and system boundaries accompanying their database entries. Each entry lists the detailed scope for the LCI data sources used from the GaBi LCI database and identifies the LCI data source.

For LCI data sourced from an Environmental Product Declaration (EPD), the product manufacturer, EPD identification number, and Program Operator are listed. Where the LCI source does not provide data for all life cycle stages, default North American average values are used. This is of particular importance for European EPD sources, as EPD data are generally only provided for the product stage, and North American average values are used for the remaining life cycle stages.

Where specific quantities are associated with a data entry, such as user inputs, energy values, or material mass, the quantity is listed on the same line as the title of the entry.

TRANSPORTATION [A4]

Default transportation values are based on the three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation is not available.

Transportation by Barge
Scope: The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by barge.
LCI Source: GLO: Average ship, 1500t payload capacity/ canal to (2017) US: Diesel mix of filling station to (2014)

Transportation by Container Ship
Scope: The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by container ship.
LCI Source: GLO: Container ship, 27500 dead payload capacity, ocean going to (2017) US: Heavy fuel oil at refinery (3,34% S) to (2014)

Transportation by Rail
Scope: The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by cargo rail.
LCI Source:

Figura 17: Report finale in .pdf di Tally-Descrizione metodologia di calcolo e LCI Data

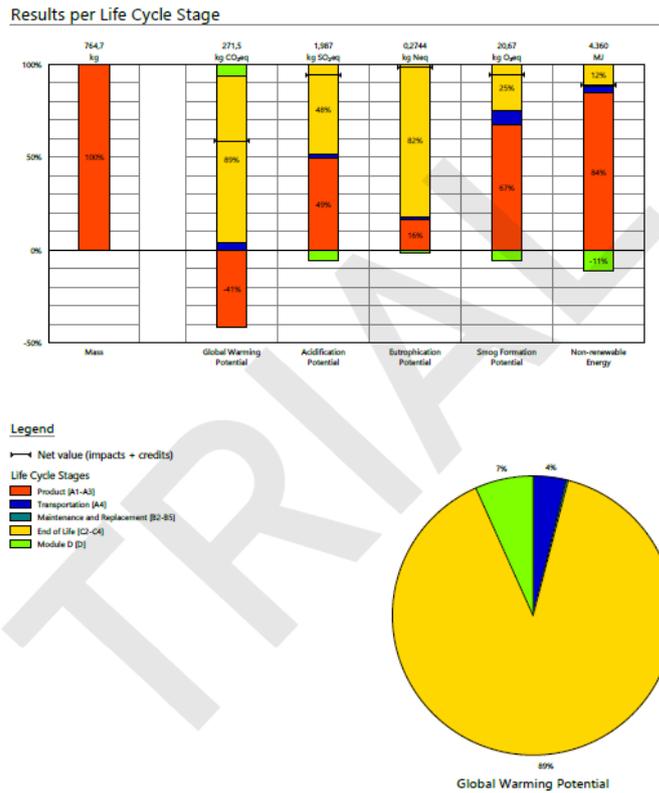


Figura 18: Esempio di grafico su Report in .pdf di Tally

Etichette di riga	Sum of Acidification Potential Total (kgSO2eq)	Sum of Eutrophication Potential Total (kgNeq)	Sum of Global Warming Potential Total (kgCO2eq)	Sum of Ozone Depletion Potential Total (CFC-11eq)	Sum of Smog Formation Potential Total (kgO3eq)	Sum of Primary Energy Demand Total (MJ)	Sum of Non-renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Mass Total (kg)
[A1-A3] Product	,97942	,04522	-11,94567	030E-08	13,91827	6296,05276	3683,68920	2622,65632	764,16545
03 - Concrete	,000	,000	,000	0.000E+00	,000	,000	,000	,000	,000
04 - Masonry	,27256	,01555	156,43433	037E-12	4,54387	2629,45276	2462,74920	165,65632	575,16545
06 - Wood/Plastics/Composites	,70686	,02967	26,38000	030E-08	9,37440	3666,60000	1220,94000	2457,000	189,000
[A4] Transportation	,04741	,00386	10,23097	3.504E-16	1,56650	148,78008	145,21986	3,59770	
03 - Concrete	,000	,000	,000	0.000E+00	,000	,000	,000	,000	,000
04 - Masonry	,02503	,00204	5,40149	1.850E-16	,82704	78,54920	76,66956	1,89943	
06 - Wood/Plastics/Composites	,02238	,00182	4,82948	1.654E-16	,73946	70,23089	68,55030	1,69828	
[B2-B5] Maintenance and Replacement	,00154	,00017	,69113	010E-12	,04346	17,99616	17,64774	,36461	,55200
03 - Concrete	,000	,000	,000	0.000E+00	,000	,000	,000	,000	,000
04 - Masonry	,000	,000	,000	0.000E+00	,000	,000	,000	,000	,000
06 - Wood/Plastics/Composites	,00154	,00017	,69113	010E-12	,04346	17,99616	17,64774	,36461	,55200
[C2-C4] End of Life	,95877	,22512	242,40998	006E-12	5,13857	548,88333	513,85689	35,47598	
03 - Concrete	,06317	,00320	3,66983	003E-12	1,25652	234,04400	218,85530	15,46485	
04 - Masonry	,05263	,00267	11,38828	002E-12	1,04680	194,98109	182,32745	12,88371	
06 - Wood/Plastics/Composites	,84297	,21925	217,35188	002E-12	2,83525	119,85824	112,67414	7,12742	
[D] Module D	-,11811	-,00478	18,12867	-256E-12	-1,18289	-854,25095	-490,96194	-365,22963	
03 - Concrete	,00454	,00026	,59995	-001E-12	,18779	5,17106	7,45627	-2,31282	
04 - Masonry	,00378	,00021	,49982	-001E-12	,15645	4,30799	6,21179	-1,92680	
06 - Wood/Plastics/Composites	-,12644	-,00525	17,02890	-253E-12	-1,52712	-863,73000	-504,63000	-360,99000	
Totale complessivo	1,86902	,26958	159,51509	030E-08	19,48391	6157,46139	3869,45175	2296,86499	764,71745

Figura 19: Esempio di file Excel da Tally

I parametri calcolati appartengono alle cinque categorie d'impatto TRACI e alle tre categorie "Cumulative Energy Demand". Tally può eseguire due tipi di analisi: quella per l'intero edificio (Full Building) e quella di confronto tra opzioni di progetto (Design option comparison). In questo studio viene utilizzata la prima opzione.

Le quantità dei materiali possono essere costantemente aggiornate ed è possibile, attraverso il comando *Isolate in Revit View*, individuare l'elemento considerato direttamente sulla vista principale di Revit, quest'ultima opzione è utile come linea guida per capire facilmente dove andare ad intervenire sul modello del progetto. Tally utilizza un database LCA personalizzato i cui dati derivano dal database GaBi. La metodologia di calcolo dell'analisi LCA è in accordo con gli standards ISO 14040-14044⁴⁵.

3.2.2 Studio del plugin One Click LCA

One Click LCA⁴⁶ è un software in cloud che permette di effettuare l'analisi LCA e calcolare gli impatti ambientali, così come il calcolo del Life Cycle Costing e del Carbon footprint. È molto conosciuto e utilizzato perché consente di ottenere dei certificati ambientali, come ad esempio il LEED. Per utilizzarlo è necessario scaricare il plugin per Revit dal sito di Autodesk, o in prova gratuita o tramite licenza (anche in questo caso è stata rilasciata la licenza gratuita per studenti).

Per poter usare il plugin e completare l'analisi è necessario creare prima il proprio profilo sul sito del software, iscrivendosi, compilando le informazioni personali e inserendo il codice della licenza. Il procedimento per effettuare la LCA è simile a quello di Tally: una volta aperto il plugin e inserite le credenziali, si può decidere quale categoria caricare, e quindi quale studiare: One Click LCA riconoscerà automaticamente i materiali e una volta cliccato su *Results* i valori degli impatti ambientali saranno disponibili. (figura 20 e 21)

Tecnicamente come plugin è più veloce rispetto a Tally, perché è possibile saltare la parte dell'assegnazione manuale dei materiali. In realtà, la rilevazione automatica è approssimativa, perciò è possibile, e consigliabile, selezionare manualmente i materiali da assegnare sul il database di One Click LCA. Come in Tally, sono disponibili i dettagli dei materiali selezionati sul database cliccando su *Show LCA Profile* impostando diversi filtri per l'assegnazione. Una volta completata l'analisi i risultati possono essere visualizzati direttamente sul plugin, se si è in possesso della licenza acquistata "Expert". La versione di prova e la licenza gratuita per studenti non permettono questo optional (Figura 22). Il report dettagliato e i valori ottenuti si trovano sul sito del software: una volta completata l'analisi, cliccando su *LCA in Cloud*, sulla propria pagina personale comparirà il progetto appena analizzato, si devono inserire ancora informazioni aggiuntive e alla fine si otterrà il report in PDF e i valori, ottenuti dai calcoli, su un file Excel (Figura 24).

⁴⁵ <https://network.aia.org/viewdocument/tally-revit-application?CommunityKey=79d8bdfe-0ff1-430c-b5c9-7aef1aa8fd0a&tab=librarydocuments>

⁴⁶ <https://www.oneclicklca.com/>

Inoltre, è possibile scegliere gli output che si desiderano ottenere sui report andandoli a selezionare sul plugin tramite il comando *Extra Info*.

Le informazioni aggiuntive da compilare sul software in cloud sono sei (figura 23):

- impostazioni sulla fase del progetto e sul modello di calcolo (*impostazioni*)
- campo di applicazione e modello di analisi (*Catalogare*)
- impostazioni filtri (*Filtri*)
- Combinazione di datapoints simili (*Combina*)
- Controllo impostazioni effettuate (*Controllare*)
- Controllo da parte del software se materiali simili sono già stati mappati in precedenza (*Mappatura*)

Il report finale restituito comprende: descrizione del progetto, i valori di CO₂ equivalenti rilasciati dall'edificio, il costo sociale del carbonio, il Carbon Heroes Benchmark, i valori degli indicatori d'impatto ambientale secondo le fasi del progetto, controllo di completezza e plausibilità, panoramica del GWP nel ciclo di vita tramite grafici e tabelle, e infine le fonti. (Figura 25)

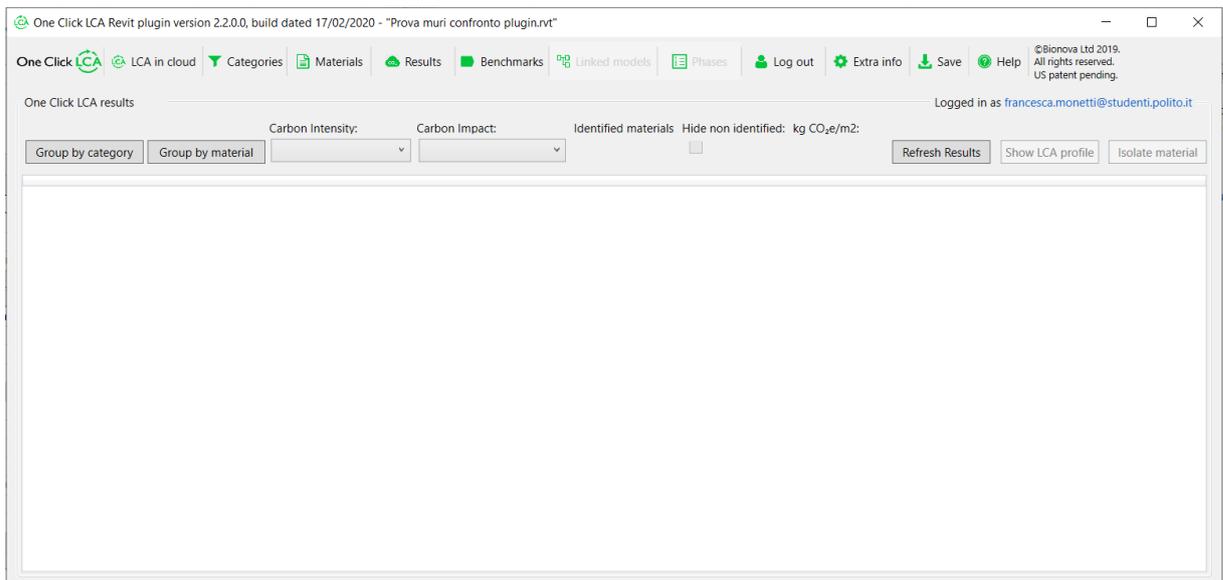


Figura 20: Interfaccia iniziale del plugin One Click LCA

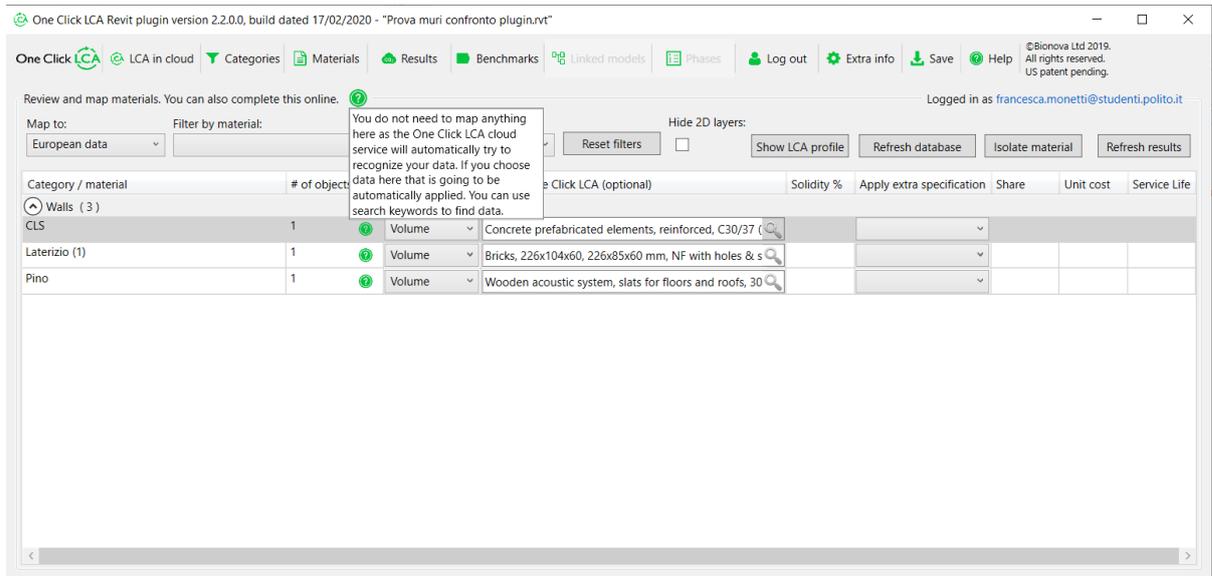


Figura 21: Assegnazione materiali sul plugin One Click LCA

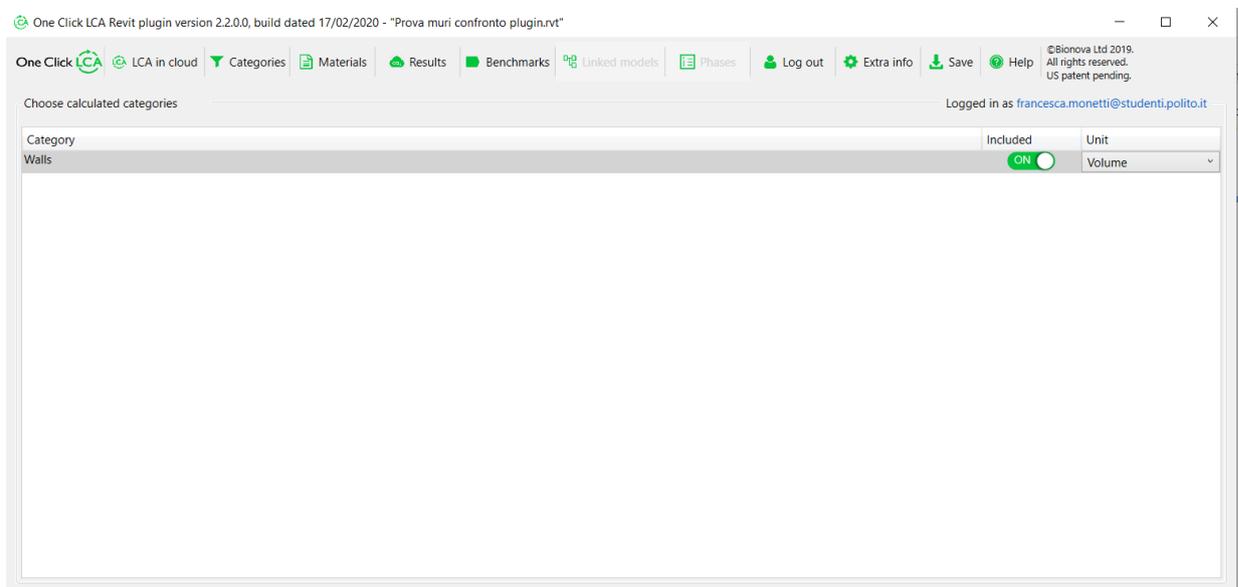
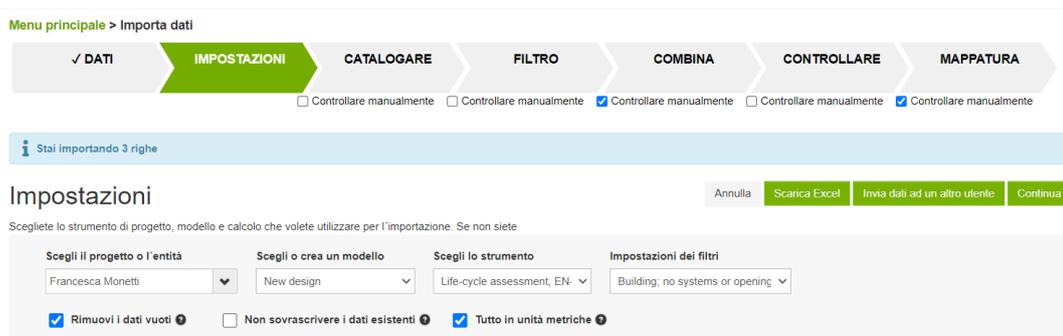


Figura 22: Interfaccia finale risultati del plugin di One Click LCA



One Click LCA © and 360optimi © copyright Bionova Ltd | Version: 21.02.2021, Database version: 7.6

Figura 23: Scheda impostazioni da compilare sul software One Click LCA

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Entity use	Project name	Design name	Indicator name						
1	Francesca Monetti	2 - prova	Life-cycle assessment, EN-15978						
3	Sezione Risorsa	Input utente	Unità	Global warming kg	CO Acidification kg	SO-Eutrophication	Ozone de	Formator	Total use
4	B6	Electricity, Italy	20 kWh	503,47	1,76	0,25	0,000058	0,094	8984,57
5				503,47	1,76	0,25	0,000058	0,094	8984,57
6	A1-A3	Wooden acoustic system, slats for floors and roofs, 30x50x2500 mm, 0.838 kg/m, Risk I (Acoustic System Impact)	0,3 m3	0,057	0,00037	0,000088	6,5E-09	0,000023	1,74
7	A1-A3	Bricks, 226x104x60, 226x85x60 mm, NF with holes & solid, RF (Wienerberger)	0,3 m3	121,34	0,17	0,023	9,6E-08	0,034	2338,86
8	A1-A3	Concrete paving and masonry (Asak)	0,3 m3	135,93	0,36	0,062	0	0,026	482,08
9	A4	Wooden acoustic system, slats for floors and roofs, 30x50x2500 mm, 0.838 kg/m, Risk I (Acoustic System Impact)	0,3 m3	4,98	0,02	0,0043	9,6E-07	0,00042	138,94
10	A4	Bricks, 226x104x60, 226x85x60 mm, NF with holes & solid, RF (Wienerberger)	0,3 m3	1,17	0,0054	0,0012	2,3E-07	0,000066	33,35
11	A4	Concrete paving and masonry (Asak)	0,3 m3	1,65	0,0076	0,0017	3,3E-07	0,000093	47,09
12	B1-B5	Wooden acoustic system, slats for floors and roofs, 30x50x2500 mm, 0.838 kg/m, Risk I (Acoustic System Impact)	0,3 m3	0,057	0,00037	0,000088	6,5E-09	0,000023	1,74
13	C1-C4	Wooden acoustic system, slats for floors and roofs, 30x50x2500 mm, 0.838 kg/m, Risk I (Acoustic System Impact)	0,3 m3	0,46	0,0036	0,00074	3,7E-13	0,00035	9,54
14	C1-C4	Bricks, 226x104x60, 226x85x60 mm, NF with holes & solid, RF (Wienerberger)	0,3 m3	5,66	0,018	0,0044	1,1E-06	0,00051	138,54
15	C1-C4	Concrete paving and masonry (Asak)	0,3 m3	5,59	0,023	0,0049	7,3E-07	0,0005	166,3
16	D	Wooden acoustic system, slats for floors and roofs, 30x50x2500 mm, 0.838 kg/m, Risk I (Acoustic System Impact)	0,3 m3	-126,38	-0,13	-0,021	-2,2E-10	-0,014	-2227,71
17	D	Bricks, 226x104x60, 226x85x60 mm, NF with holes & solid, RF (Wienerberger)	0,3 m3	-6,43	-0,011	-0,002	-1,9E-11	-0,00046	-117,37
18	D	Concrete paving and masonry (Asak)	0,3 m3	-9,08	-0,015	-0,0029	-2,7E-11	-0,00065	-165,7
19				276,88	0,6	0,12	3,4E-06	0,062	3358,17
20	B6	Biodiesel, vegetable oil-based	20 l	950,09	4	1,74	0,0001	0,59	40896,66
21				950,09	4	1,74	0,0001	0,59	40896,66
22									
23									

Figura 24: Risultati analisi LCA di One Click LCA su Excel

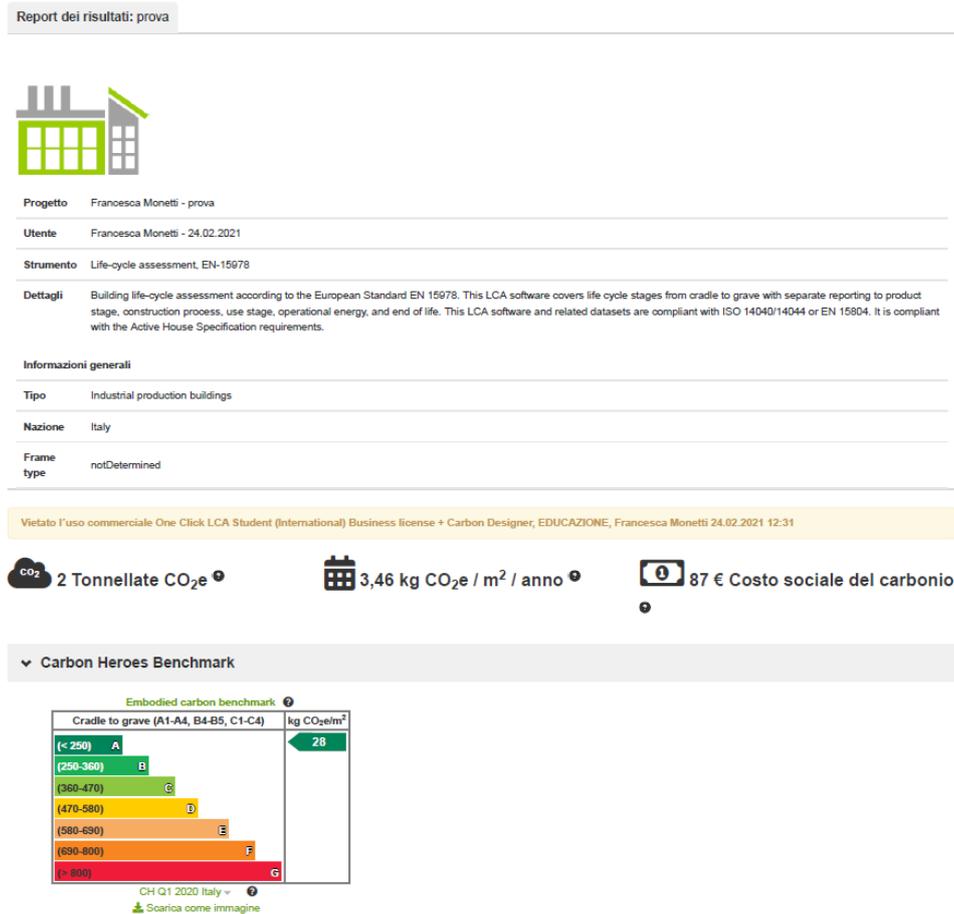


Figura 25: Report finale di One Click LCA in .pdf

3.3 Prova di confronto tra i plugin Tally e One Click LCA tramite caso studio

Per decidere quale plugin utilizzare nella metodologia d'integrazione BIM-LCA, è stata fatta una prova di confronto con un caso studio molto semplice composto da 3 muri, di altezza 1 metro e spessore 0,3 metri, di 3 materiali diversi: calcestruzzo, muratura e legno (Figura 26).

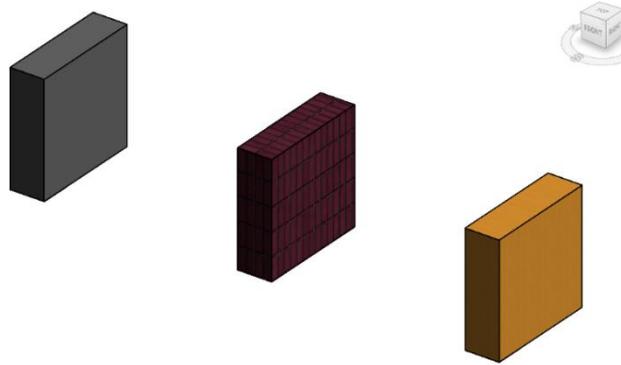


Figura 26: Prova confronto plugin con tre tipi di muri su Revit

I muri sono stati modellati su Revit ed è stata effettuata l'analisi LCA prima utilizzando il plugin Tally e successivamente il plugin One Click LCA. La metodologia e gli output dei due plugin sono risultati molto simili: dopo aver analizzato e sintetizzato le condizioni di entrambi (riassunti nella tabella 3), è stata compilata la tabella dei vantaggi e svantaggi (tabella 4).

	VERSIONE	FORMATO OUTPUT	INPUT	DATA SOURCE	OUTPUT	METODOLOGIA
TALLY	2020.06.09.01	.pdf+.xlsx	Modello parametrico BIM	GaBI database	Report finale in pdf e file Excel con i valori di 8 categorie d'impatto ambientale divisi per: fase ciclo di vita, materiali e categorie Revit	Metodologia TRACI+ Cumulative Energy Demand, coerenti con LCA standards ISO 14040-14044
ONE CLICK LCA	2.2.0.0	.pdf+.xlsx	Modello parametrico BIM	Quasi tutte le piattaforme EPD del mondo (sono 59 e l'elenco è presente sul sito internet www.oneclicklca.com)	Report finale in pdf e file Excel con i valori di 8 categorie d'impatto ambientale divisi per fase ciclo di vita e materiali (+ altre opzioni Revit da impostare sul plugin)+valori di CO2 eq., costo sociale del carbonio e Carbon Heroes Benchmark	Metodologia TRACI+ Metodologia CML, coerenti con LCA standards ISO 14040-14045

Tabella 3: Tabella riassuntiva confronto Tally e One Click LCA

	VANTAGGI	SVANTAGGI
TALLY	Ottima interoperabilità con Revit; Output facili da consultare e da riutilizzare su Dynamo; procedimento per ottenere i risultati veloce e automatico ; interfaccia grafica chiara e intuitiva; Disponibilità di una guida chiara e dettagliata;	Database materiali limitato e non modificabile; impossibilità di modificare la quantità e il tipo di output; step di assegnazione materiali non automatico;
ONE CLICK LCA	Ottima interoperabilità con Revit, Quantità di output disponibili più ricca; database (quasi) illimitato e modificabile (con iter lungo); step di assegnazione materiali automatico (anche se è più preciso se fatto manualmente);	Richiede un procedimento più lungo e la compilazione d'informazioni molto dettagliate per ottenere gli output; benefit inferiori per la licenza studenti; quasi assenza di una guida chiara e dettagliata;

Tabella 4: Tabella riassuntiva vantaggi e svantaggi di Tally vs One Click LCA

Come si può notare dalla tabella 4, Tally e One Click LCA hanno vantaggi e svantaggi opposti ed equilibrati tra loro: mentre One Click LCA ha un database ricco e modificabile, Tally ne ha uno più limitato e non modificabile; d'altro canto il procedimento per l'ottenimento dei risultati per One Click LCA è più lungo e complicato, e richiede inoltre una quantità di informazioni dettagliate che non sempre sono facili da reperire, mentre Tally ha un'interfaccia pulita e il procedimento per ottenere i risultati finali è veloce e intuitivo.

Entrambi hanno un'ottima interoperabilità con Revit ma i risultati ottenuti, su Excel, da Tally sono più facili da utilizzare, poiché l'organizzazione è divisa per categorie su diversi fogli, e su ciascun foglio si possono gruppi e sottogruppi dettagliati, senza nessun'altro dato aggiuntivo. One Click LCA, invece, raccoglie tutte le informazioni in un unico foglio Excel, più confusionario e quindi più difficile da gestire. Inoltre, la versione gratuita di Tally permette di utilizzare il plugin così com'è, invece quella di One Click LCA ha meno funzionalità disponibili. In generale si può affermare che entrambi siano validi plugin per l'analisi LCA su un modello Revit ma, per il tipo di studio che si vuole fare e per la quantità e qualità di dati disponibili, Tally risulta essere quello più adatto: per questo è stato scelto come plugin LCA della nuova metodologia.

3.4 Sviluppo e prova della metodologia d'integrazione BIM-LCA

Una volta completato lo studio, l'intento finale è stato quello di cercare di reinserire questo parametro all'interno del modello Revit per poter fare una tematizzazione del progetto e vedere direttamente l'andamento del valore GWP tra le componenti del complesso industriale. Quest'ultima parte è stata possibile tramite l'utilizzo di un Plugin BIM: Dynamo.

Si chiude così il cerchio del workflow metodologico avanzato nel capitolo precedente, come si evince nella figura 27.

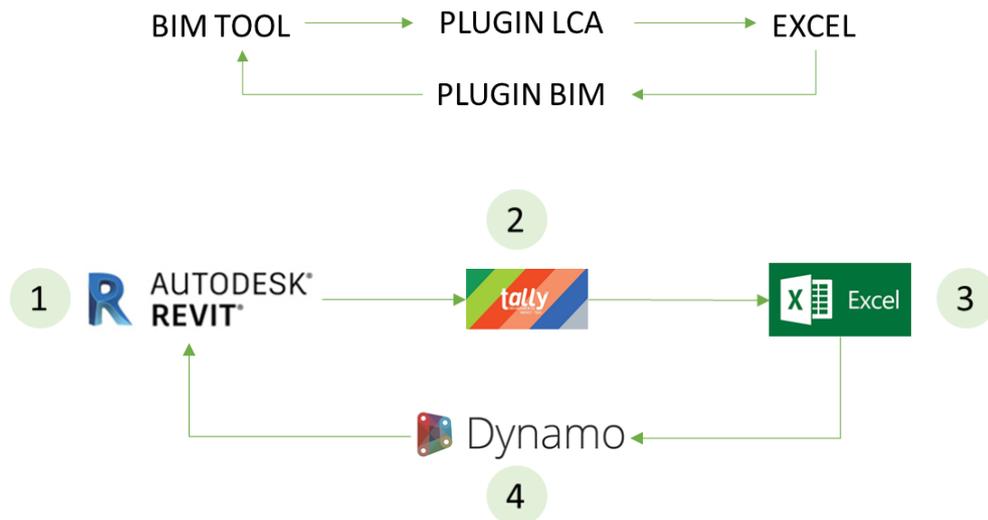


Figura 27: Workflow metodologico

A questo punto, i risultati ottenuti dal Tally su file Excel sono stati importati su Dynamo e, successivamente, esportati sul Modello Revit come valori di un Parametro Condiviso precedentemente creato.

Il Parametro Condiviso - *Shared Parameter* - è di tipo numerico, associato a tutti gli elementi del progetto (figura 28).

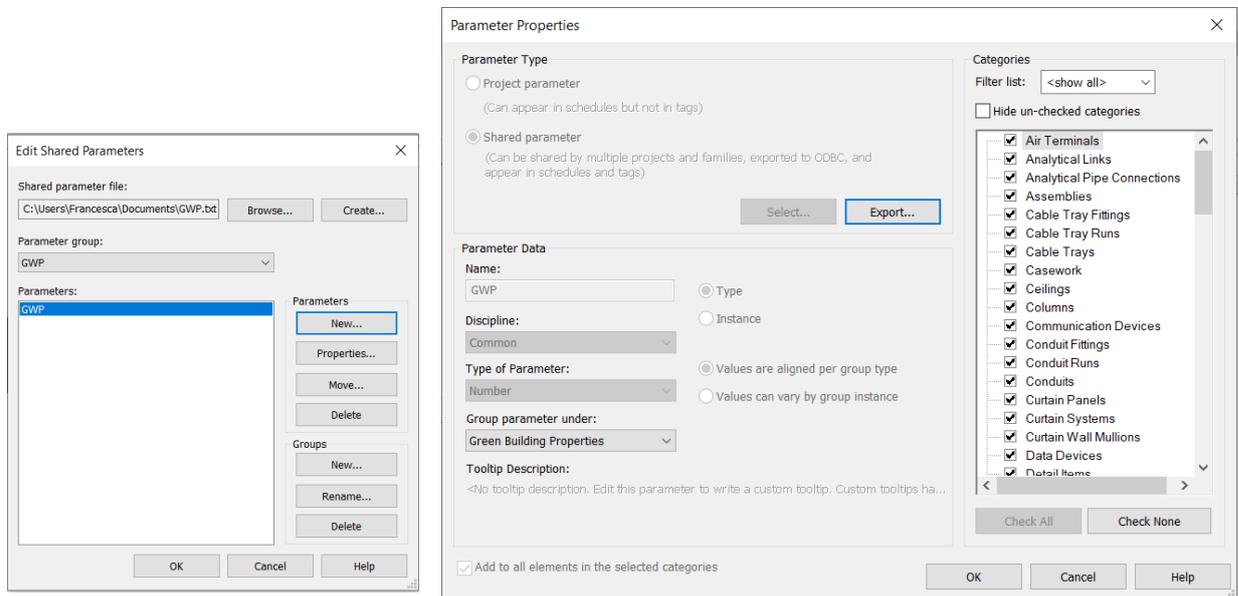


Figura 28: Creazione Parametro Condiviso GWP

Per reinserire i risultati di Tally sul modello si poteva procedere in due modi:

- 1) Compilare manualmente i valori per ogni elemento di Revit;
- 2) Utilizzare un plugin di Revit che velocizzasse la compilazione rendendola automatica.

In questo caso, essendo presenti solo tre elementi nel progetto, la compilazione manuale era la più veloce delle due opzioni ma, visto che questo caso studio dei tre muri serviva a provare, e successivamente convalidare, la metodologia per l'impianto di lastratura dove gli elementi presenti sono molti di più, è stato scelto di utilizzare il plugin di Revit Dynamo.

Dynamo⁴⁷ Revit è un programma che permette di impostare script di linguaggio di programmazione Python e utilizzarli per gestire, modificare e organizzare tutti gli elementi presenti all'interno del modello Revit. Su Dynamo è possibile dialogare con Revit tramite comandi preimpostati dal team di Dynamo, per facilitare l'utilizzo dei benefici dello script a professionisti che non sono formati nel campo della programmazione. Dynamo permette di compilare e gestire un'enorme quantità di informazioni in maniera automatica e veloce: si possono scaricare liste di valori di qualunque parametro, esportare o importare dati da Excel e molto altro.

Prima di passare a Dynamo, i valori ottenuti da Tally sono stati copiati e incollati su un nuovo foglio Excel, così da avere le informazioni minime necessarie. (Figura 33 e 34).

Il procedimento su Dynamo è stato il seguente:

1. tramite il comando *Data.ImportExcel* sono stati importati i valori del parametro GWP dal file Excel "Valori GWP". Il comando richiede come inputs: il nome del file Excel, il nome del foglio sul file Excel, la possibilità di mostrare la lettura dei valori come stringhe e la possibilità di far aprire da Dynamo il file Excel stesso ogni volta che si avvia lo script. Le ultime due opzioni non sono state attivate inserendo un comando *Boolean* e cliccando su *False*. (Figura 29)

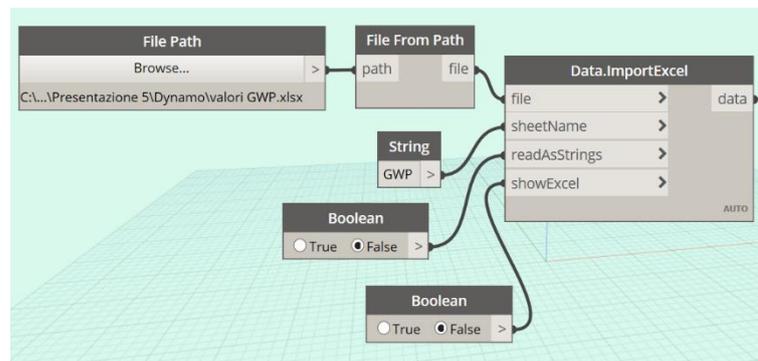


Figura 29: comando *Data.ImportExcel* di Dynamo

2. Successivamente, è stata modificata la lista di dati trasponendola grazie il comando *List.Transpose*, dividendo la parte numerica da quella testuale con il comando *List.GetItemAtIndex* ed eliminando i valori nulli attraverso il comando *List.DropItems* (Figura 30);

⁴⁷ <https://dynamobim.org/>

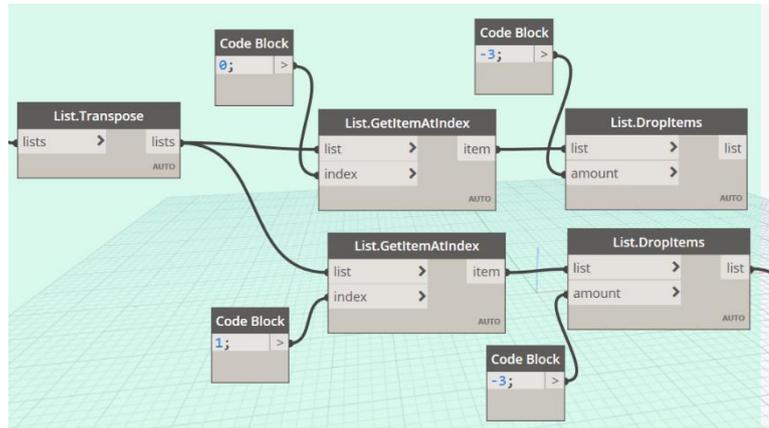


Figura 30: Comandi su Dynamo per l'organizzazione delle liste

3. Parallelamente è stata importata da Revit, tramite il comando *Category.ByName* la lista della categoria dei muri, da qui è stata estrapolata la lista degli elementi attraverso i comandi *AllelementsofCategory* e *ElementName*. Successivamente è stata estratta le lista dei soli elementi Walls tramite il comando *WallType.ByName* (Figura 31). Infine, grazie al comando *Element.SetParameterByName* (figura 32) sono stati associati i valori ottenuti da Tally con gli elementi di riferimento e sono stati inseriti direttamente all'interno del parametro condiviso GWP sul modello di Revit (Figura 35).

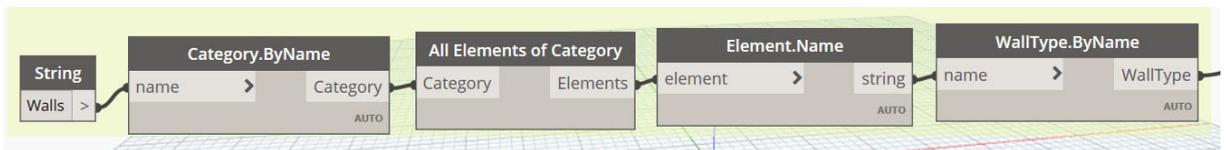


Figura 31: Comandi su Dynamo per l'estrazione delle liste dei Wall Type Elements

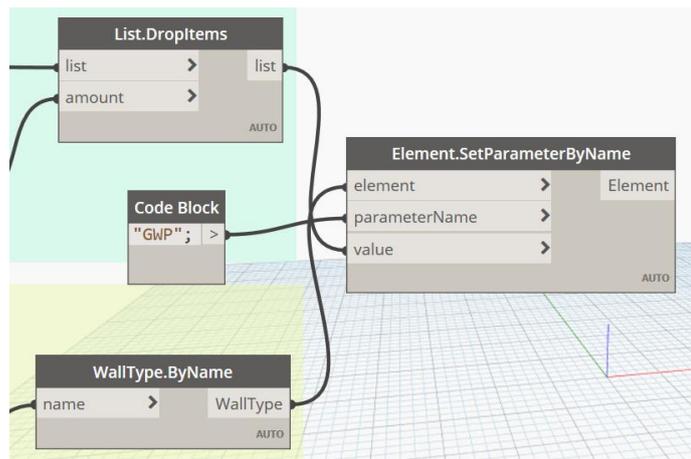


Figura 32: Comandi su Dynamo per la compilazione automatica del parametro condiviso GWP su Revit

Etichette di riga	Sum of Acidification Potential Total (kgSO2eq)	Sum of Eutrophication Potential Total (kgNeq)	Sum of Global Warming Potential Total (kgCO2eq)	Sum of Ozone Depletion Potential Total (CFC-11eq)	Sum of Smog Formation Potential Total (kgO3eq)	Sum of Primary Energy Demand Total (MJ)	Sum of Non-renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Mass Total (kg)
Walls	1,86902	,26958	159,51509	030E-08	19,48391	6157,46139	3869,45175	2296,86499	764,71745
Generico - 30 cm CLS	,06771	,00346	14,26978	001E-12	1,44431	239,21506	226,31157	13,15203	,000
Generico - 30 cm LEGNO	1,44731	,24566	-28,47861	030E-08	11,46545	3010,95529	915,18218	2105,20031	189,55200
Generico - 30 cm MURATURA	,35400	,02047	173,72392	038E-12	6,57416	2907,29104	2727,95799	178,51265	575,16545
Totale complessivo	1,86902	,26958	159,51509	030E-08	19,48391	6157,46139	3869,45175	2296,86499	764,71745

Figura 33: Foglio Excel con i valori di GWP da Report di Tally

	A	B	C
1	Generico - 30 cm CLS	14,26978	
2	Generico - 30 cm LEGNO	173,72392	
3	Generico - 30 cm MURATURA	-28,47861	
4			

Figura 34: Foglio Excel, con i valori di GWP, modificato per Dynamo

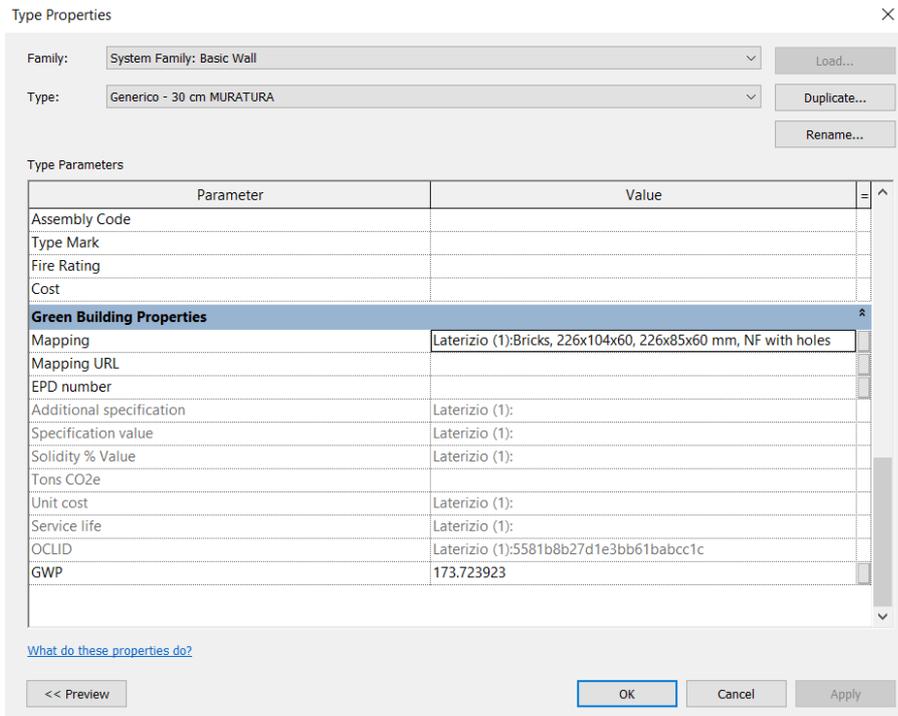


Figura 35: Compilazione automatica del parametro GWP tramite Dynamo

Una volta compilati i parametri condivisi GWP tramite Dynamo, sono stati creati dei filtri di vista (Figura 36 e 37) per poter visualizzare, a livello grafico nel modello 3D di Revit, il valore del parametro (Figura 38). I filtri di vista sono stati impostati in base a 3 gruppi di valori di GWP:

- $GWP < 0$ = Colore Azzurro
- $0 < GWP < 50$ = Colore Giallo
- $GWP > 50$ = Colore Rosso

Purtroppo, la normativa non fornisce delle classi di valore con colori associati, in questo studio sono state create arbitrariamente poiché lo scopo era quello di avere subito, visivamente, un'idea del valore di GWP delle parti di edificio (anche se in questo caso si stanno considerando solo 3 muri) e quindi la possibilità di individuare immediatamente dove andare a intervenire in caso di azioni di migliorie o ristrutturazioni.

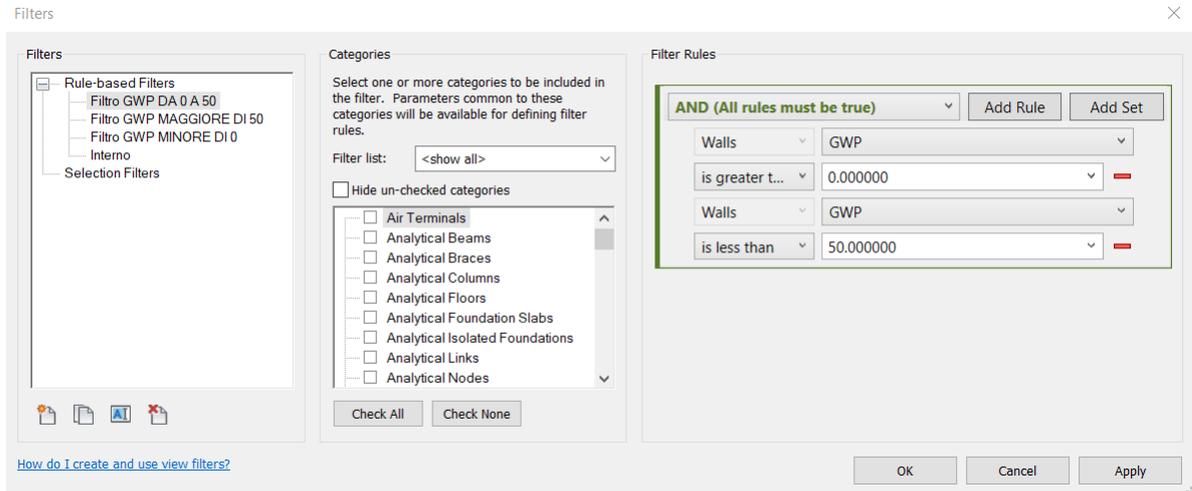


Figura 36: Impostazione range di valori GWP per Filtri di Vista su Revit

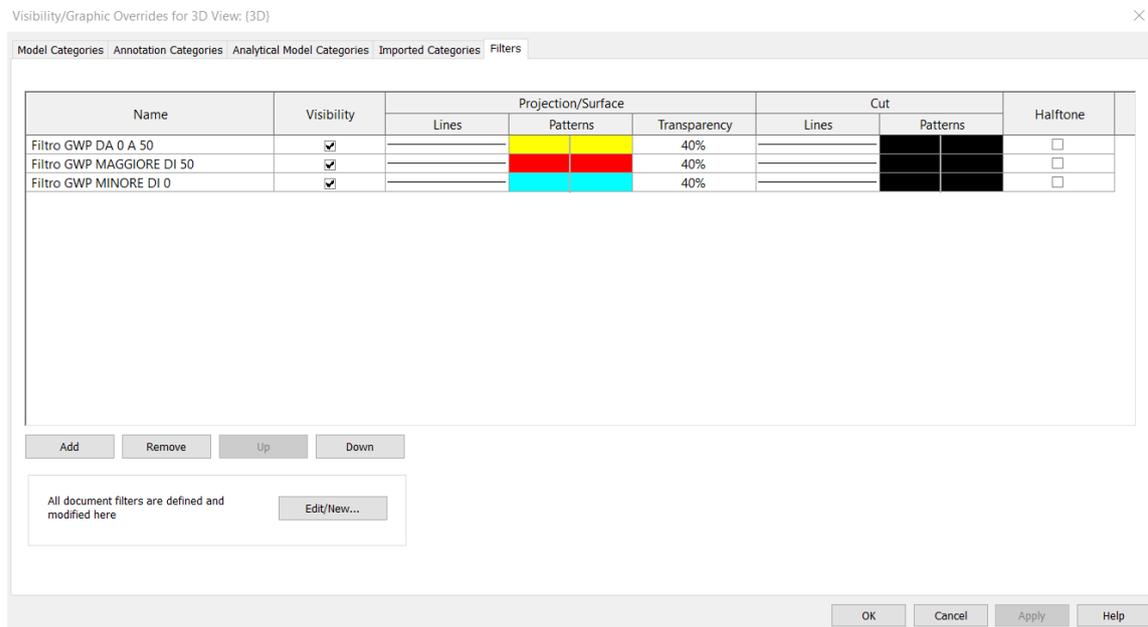


Figura 37: Impostazione colori per Filtri di Vista su Revit

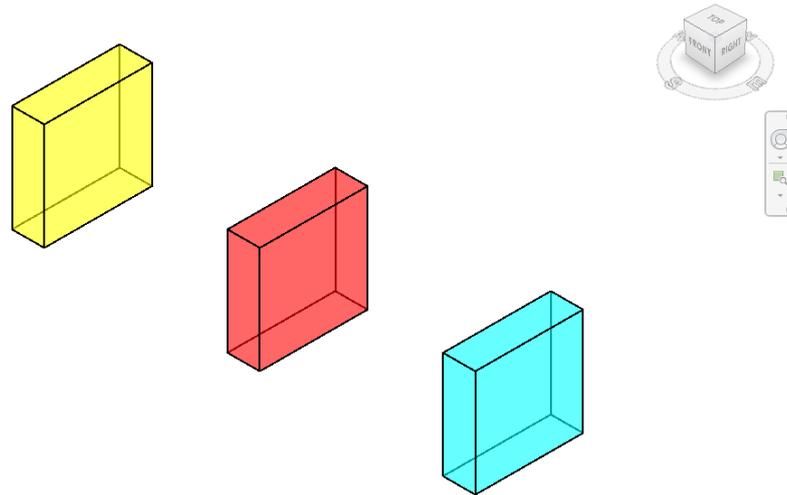


Figura 38: Visualizzazione modello con Filtri di Vista- vista Hidden Line

Dalla figura 38 si può notare come il materiale con impatto ambientale minore sia il legno, mentre il peggiore è quello in muratura.

Una volta conclusa la prova è stato scelto come definitivo il workflow metodologico nella figura 39, che verrà utilizzato nel caso studio dell'impianto di lastratura di FIAT Mirafiori (Figura 39).

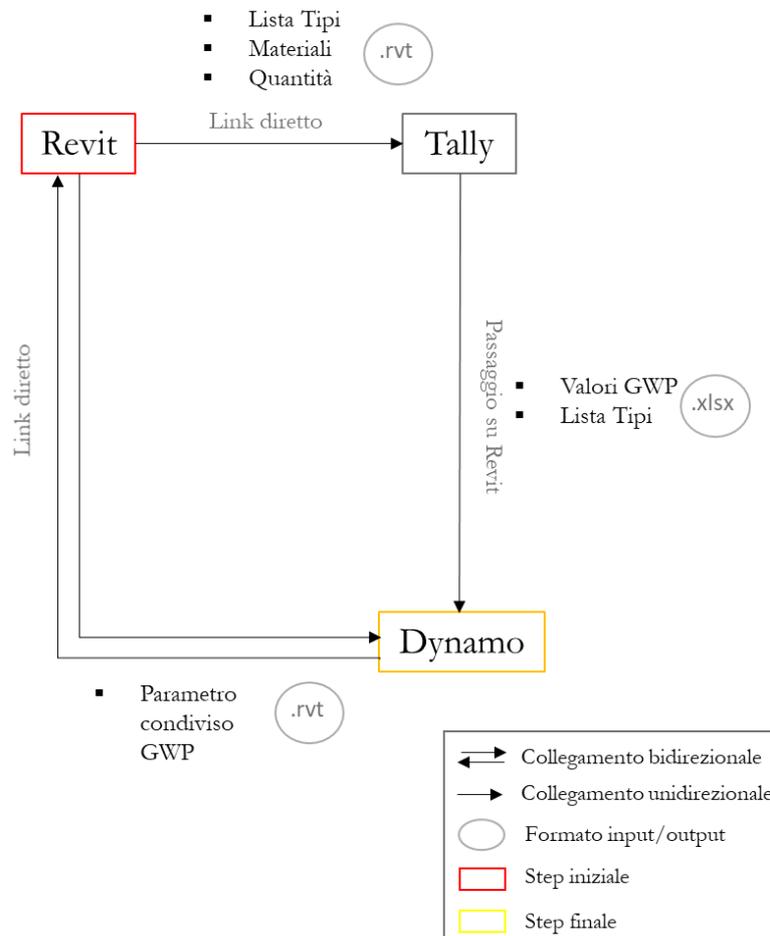


Figura 39: Workflow metodologico caso studio impianto di lastratura

4.0 CASO STUDIO: CALCOLO DEL PARAMETRO GWP DELL'IMPIANTO DI LASTRATURA FCA A MIRAFIORI

4.1 Presentazione dell'impianto di Lastratura come modello su Revit

L'impianto di Lastratura si trova nel complesso FCA di Mirafiori Nord e fa parte di quella che è, storicamente, la casa automobilistica più grande e importante d'Italia. Lo stabilimento fu costruito nel 1936 a seguito della necessità di aumentare la disponibilità degli spazi della sede storica. L'impianto di Lastratura si trova nella parte di Mirafiori Nord insieme a quella di Verniciatura e di Assemblaggio⁴⁸.

All'inizio del lavoro di studio è stato consegnato il modello dell'impianto, già disegnato, su un file Revit 2020, per questo motivo è stato necessario aggiornare il software utilizzato fino al capitolo precedente (Revit 2019). Il file in questione era un Federated model, ovvero un modello che permette la condivisione dei dati, tra i diversi professionisti della progettazione, attraverso l'integrazione di più modelli dei diversi campi dell'edilizia (architettonico, strutturale, impiantistico ecc.) e questa opzione, insieme all'interoperabilità tra i softwares, è quella che permette di sfruttare al meglio i vantaggi della metodologia BIM citati nel primo capitolo.

La cartella con i files era composta da: modello architettonico, modello meccanico e modello elettrico. Quello utilizzato per lo studio d'integrazione BIM-LCA è stato quello architettonico, scelta necessaria anche perché il plugin Tally acquisisce solo gli elementi del modello architettonico e solo quelli a cui sono stati assegnati un materiale.

L'impianto ha un'area di 96000 m², il numero di Categorie, i cui elementi sono riconosciuti da Tally, sono 7 e sono formate dai seguenti sottogruppi:

1. Categoria Doors: 6 Famiglie, 18 Tipi e 60 Istanze
2. Categoria Floors: 1 Famiglia, 3 Tipi e 18 Istanze
3. Categoria Roofs: 1 Famiglia, 4 Tipi e 210 Istanze
4. Categoria Columns: 1 Famiglia, 61 Tipi e 374 Istanze
5. Categoria Structural Columns: 1 Famiglia, 2 Tipi e 9 Istanze
6. Categoria Walls: 1 Famiglia, 18 Tipi e 892 Istanze
7. Categoria Windows: 3 Famiglie, 16 Tipi e 230 Istanze

Un esempio con i nomi di Famiglia, Tipi e Istanze della Categoria Tetto si trova nella tabella dell'Allegato n.1.

⁴⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Fiat_Mirafiori

Conoscere queste informazioni è stato fondamentale per l'assegnazione dei materiali, ai singoli Tipi, su Tally e per lo studio delle possibili modifiche da effettuare dopo l'analisi LCA, al fine di diminuire l'impatto ambientale dell'edificio.

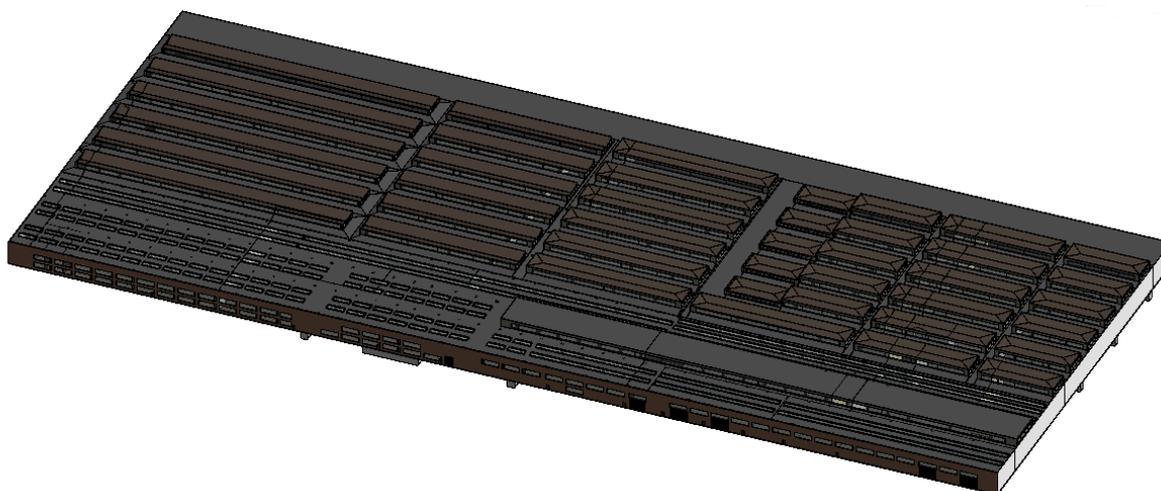


Figura 40: Modello su Revit dell'impianto di Lastratura

4.2 Primo passaggio della strategia d'integrazione BIM-LCA: Tally

Il primo passaggio è stato quello di utilizzare il plugin Tally, precedentemente scelto, per calcolare i valori di GWP di tutti i componenti dell'edificio: per arrivare a tale risultato è stato necessario assegnare ai materiali del progetto quelli presenti sul database di Tally. Purtroppo il plugin, come è già stato fatto presente precedentemente, ha un database limitato e non modificabile, per questo è stato necessario utilizzare quelli più simili presenti nella lista di materiali disponibili. L'opzione di analisi scelta è stata quella di studiare l'intero edificio "Full Building Study" e di selezionare tutte le categorie presenti e tutte le fasi di progetto (Figura 41).

La lista di elementi, caricata su Tally da Revit, è a tendina e si sviluppa prima in Categorie, poi in Famiglie e alla fine in Tipi, dentro i quali è presente una "sottolista" di materiali che li compongono (Figura 42). Una volta caricata la lista dei Tipi si procede aprendo le rispettive liste dei materiali e si assegnano quelli più simili presenti nel database di Tally, tramite il comando *Edit Definition*. La lista di materiali da associare su Tally è divisa in gruppi che richiamano non soltanto il tipo di materiale in sé ma anche l'utilizzo, ad esempio: se si vuole associare la cornice della porta che è in acciaio, nella lista di materiali disponibili su Tally c'è la sezione "Door Frame" in cui è presente il materiale, collegato al suo uso nell'elemento (figura 43).

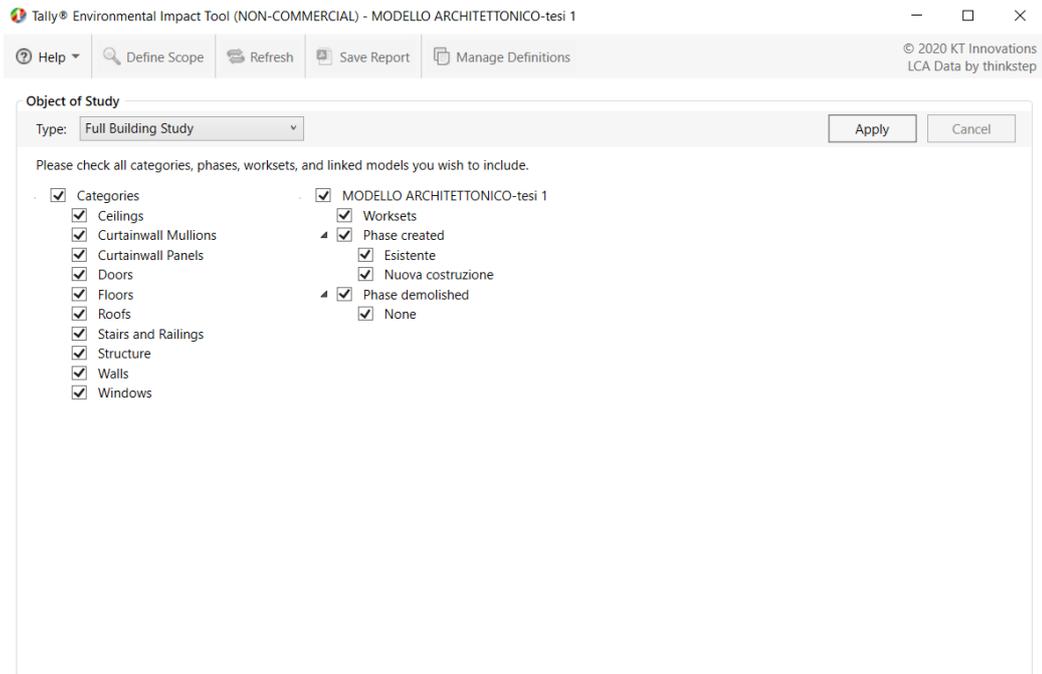


Figura 41: Impostazioni plugin Tally analisi impianto di Lastratura

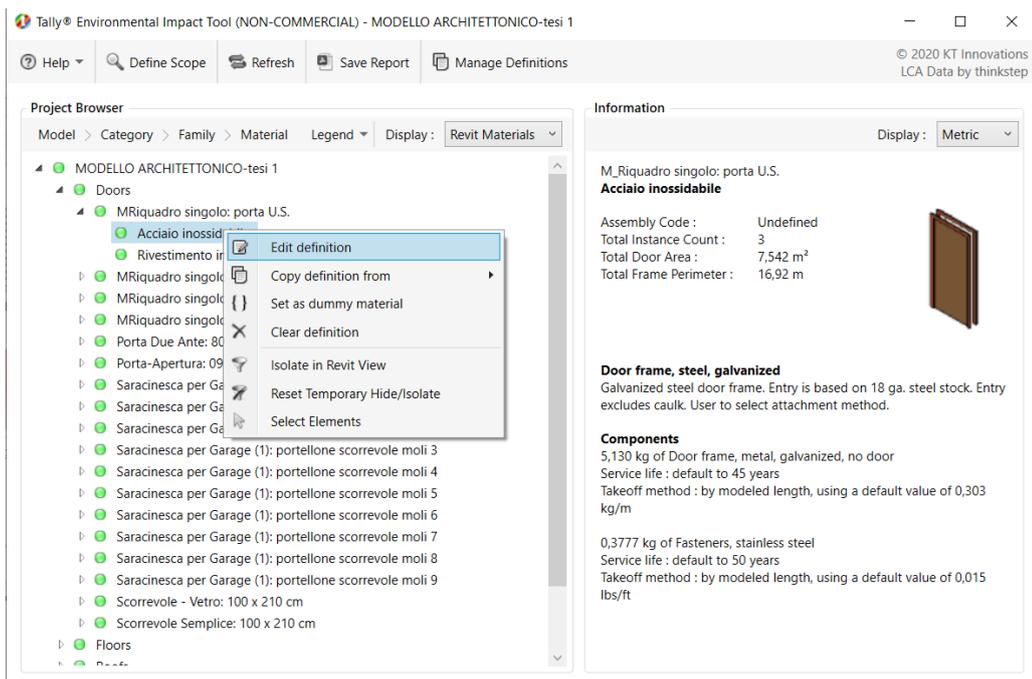


Figura 42: Liste di Categorie, Famiglie e Materiali su Tally

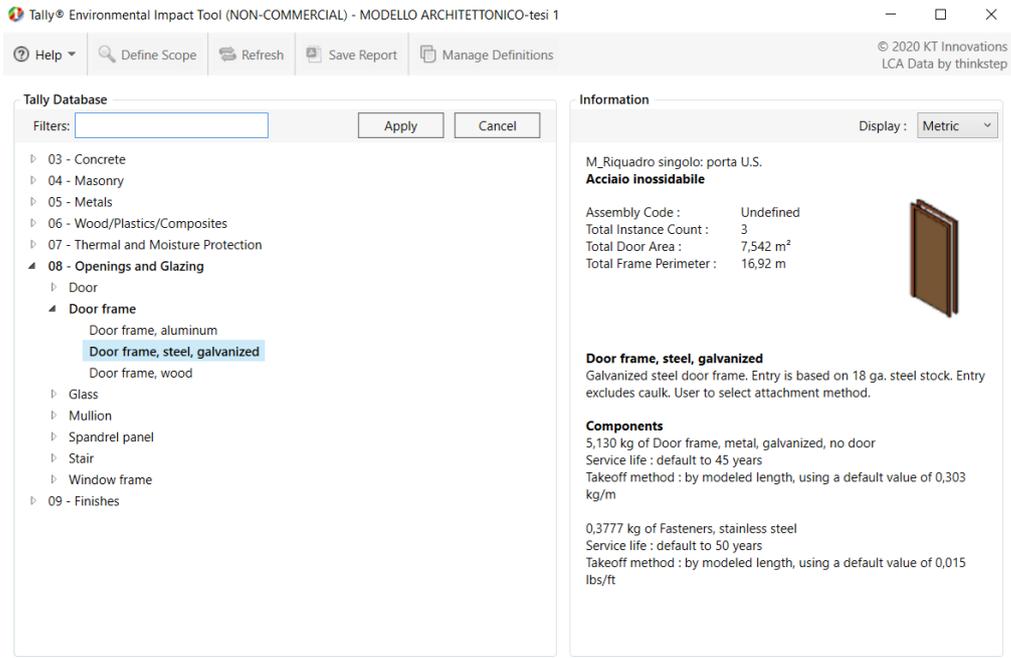


Figura 43: Liste dei materiali collegati al loro utilizzo - Tally

Una volta selezionato il materiale si apre un'altra finestra che permette di definire, nel dettaglio, il materiale scelto in tutti i suoi componenti (figura 44).

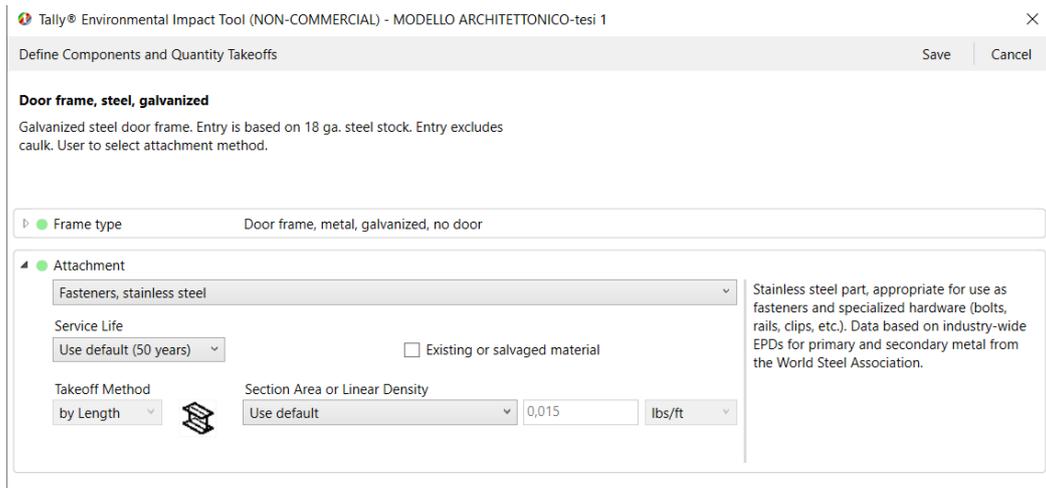


Figura 44: Finestra di Tally per definire nel dettaglio il materiale da associare

Tally permette di associare con un solo click tutti i materiali che rileva come simili in altri Tipi, chiedendo prima l'autorizzazione dell'utente, questo passaggio è utile perchè permette di risparmiare tempo nel processo di assegnazione. Una volta associati tutti i materiali si procede con l'analisi cliccando il tasto *Save Report* e si compilano tutte le informazioni richieste. Nell'ultima schermata si richiede di inserire il nome del progetto, il nome del committente, il luogo di costruzione e una sintesi dei Goal prefissati dal progettista. Il report con i valori viene restituito in formato pdf e in formato Excel, quest'ultimo è quello necessario per completare il workflow metodologico descritto in figura 36. Dal report in .pdf si ricavano i valori degli indicatori degli

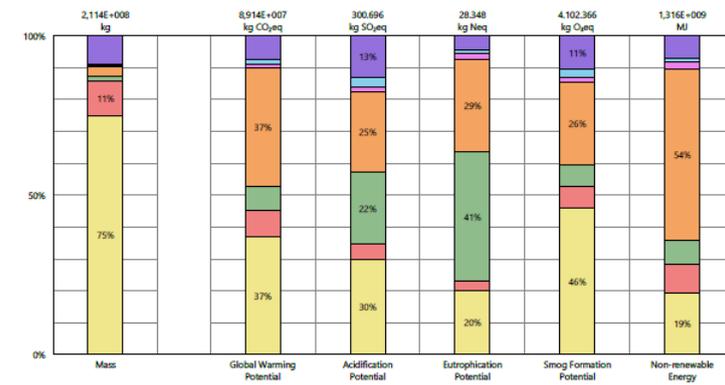
impatti ambientali divisi per fase di vita del progetto e per aree (figura 45), e i grafici per divisione di materiali (figura 46) o di Categoria Revit (figura 47) o per Famiglia Revit.

Environmental Impact Totals	Product Stage [A1-A3]	Construction Stage [A4]	Use Stage [B2-B5]	End of Life Stage [C2-C4]	Module D [D]
Global Warming (kg CO ₂ eq)	6,137E+007	1.371.152	2,796E+007	7.387.285	-8.945.711
Acidification (kg SO ₂ eq)	218.130	8.759	120.937	20.285	-67.415
Eutrophication (kg Neq)	15.753	591,6	12.142	1.585	-1.724
Smog Formation (kg O ₃ eq)	2.971.353	255.844	1.143.270	383.977	-652.079
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	0,2503	4,644E-008	0,2374	7,599E-007	-0,03315
Primary Energy (MJ)	8,629E+008	1,981E+007	6,143E+008	7,077E+007	-1,236E+008
Non-renewable Energy (MJ)	7,744E+008	1,936E+007	5,588E+008	6,618E+007	-1,032E+008
Renewable Energy (MJ)	8,823E+007	459.265	5,513E+007	4.675.795	-2,049E+007

Environmental Impacts / Area	Product Stage [A1-A3]	Construction Stage [A4]	Use Stage [B2-B5]	End of Life Stage [C2-C4]	Module D [D]
Global Warming (kg CO ₂ eq/m ²)	639,2	14,28	291,3	76,95	-93,2
Acidification (kg SO ₂ eq/m ²)	2,272	0,09123	1,260	0,2113	-0,7022
Eutrophication (kg Neq/m ²)	0,1641	0,006163	0,1265	0,01651	-0,01796
Smog Formation (kg O ₃ eq/m ²)	30,95	2,665	11,91	4,000	-6,79
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m ²)	2,607E-006	4,838E-013	2,473E-006	7,916E-012	-3,453E-007
Primary Energy (MJ/m ²)	8.988	206,4	6.399	737,2	-1.287
Non-renewable Energy (MJ/m ²)	8.067	201,6	5.821	689,4	-1.075
Renewable Energy (MJ/m ²)	919,0	4,784	574,2	48,71	-213

Figura 45: Valori degli indicatori d'impatto ambientale restituiti da Tally

Results per Division



Legend

- Divisions
- 03 - Concrete
 - 04 - Masonry
 - 05 - Metals
 - 06 - Wood/Plastics/Composites
 - 07 - Thermal and Moisture Protection
 - 08 - Openings and Glazing
 - 09 - Finishes

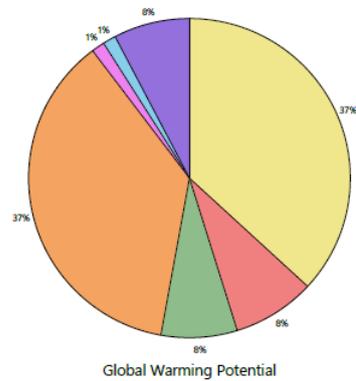
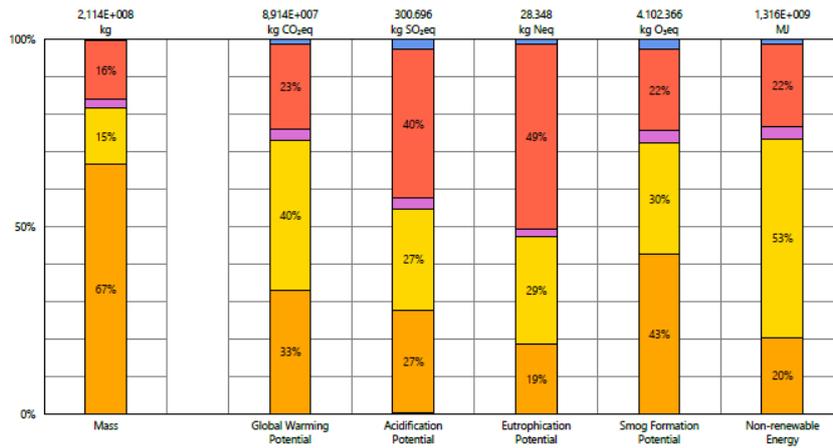


Figura 46: Grafici degli indicatori d'impatto ambientale divisi per materiale- da report di Tally

Results per Revit Category



Legend

- Doors
- Floors
- Roofs
- Structure
- Walls
- Windows

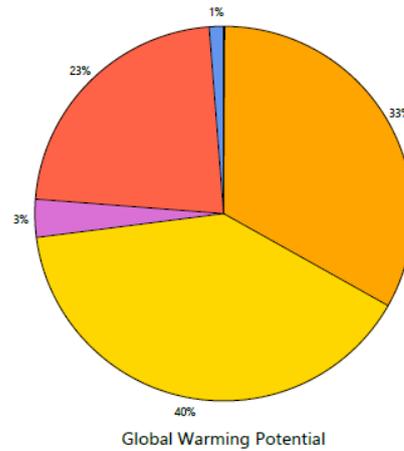


Figura 47: Grafici degli indicatori d'impatto ambientale divisi per Categorie di Revit - da Report di Tally

Etichette di riga	Sum of Acidification Potential Total (kgSO2eq)	Sum of Eutrophication Potential Total (kgNeq)	Sum of Global Warming Potential Total (kgCO2eq)	Sum of Ozone Depletion Potential Total (CFC-11eq)	Sum of Smog Formation Potential Total (kgO3eq)	Sum of Primary Energy Demand Total (MJ)	Sum of Non-renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Renewable Energy Demand Total (MJ)	Sum of Mass Total (kg)
Doors	507,03212	26,22229	76587,16309	005E-04	6525,35441	1291347,25032	1104597,79501	178692,91745	26039,89061
M_Riquadro singolo: porta U.S.	4,43962	,76511	753,60506	4.175E-08	56,92002	12320,43798	11249,57876	1070,49466	367,96213
M_Riquadro singolo: porta U.S. 2	12,07792	2,08710	2052,62518	001E-04	154,88581	33561,99521	30644,22448	2916,63223	1002,00838
M_Riquadro singolo: porta U.S. 3	30,32749	5,23377	5151,10640	003E-04	388,87230	84219,26330	76898,31306	7318,27125	2514,83691
M_Riquadro singolo: porta U.S. 4	1,66080	,28681	282,17152	1.564E-08	21,29675	4613,58177	4212,51299	400,91696	137,75195
Porta Due Ante: 80 x 210 T 52 x A5 x L5	2,58725	1,14936	503,94276	4.994E-08	16,54191	9381,74953	7068,57213	2306,22114	424,79352
Porta-Apertura: 0915 x 2134mm	,78947	,06442	163,46922	344E-08	11,76676	2529,02167	2074,05720	457,30498	103,5000
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli	92,44136	3,37238	13764,83040	195E-08	1193,39691	23319,21501	197853,29918	33608,99107	4323,96302
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 10	20,88284	,76183	3109,52494	044E-08	269,59268	52662,47327	44695,77542	7592,39256	976,79888
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 2	155,92519	5,68834	23217,78622	329E-08	2012,95864	393213,13375	333728,45645	56689,86446	7293,43160
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 3	15,03564	,54852	2238,85796	032E-08	194,10673	37916,98075	32180,95830	5466,52264	703,29519
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 4	25,05941	,91420	3731,42993	053E-08	323,51121	63194,96792	53634,93050	9110,87107	1172,15865
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 5	10,30220	,37584	1534,03230	022E-08	132,99905	25980,15348	22049,91587	3745,58033	481,88745
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 6	25,05941	,91420	3731,42993	053E-08	323,51121	63194,96792	53634,93050	9110,87107	1172,15865
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 7	11,13751	,40631	1658,41330	024E-08	143,78276	28086,65241	23837,74689	4049,27603	520,95940
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 8	41,76568	1,52366	6219,04988	088E-08	539,18535	105324,94654	89391,55584	15184,78512	1953,59775
Saracinesca per Garage (1): portellone scorrevole molli 9	52,90319	1,92997	7877,46318	112E-08	682,96811	133411,59895	113229,29773	19234,06116	2474,55715
Scorrevole - Vetro: 100 x 210 cm	3,56428	,15410	459,20321	184E-12	45,39436	6622,66617	6313,33866	330,40707	319,93000
Scorrevole Semplice: 100 x 210 cm	1,07286	,04638	138,22170	055E-12	13,66385	1993,44467	1900,33605	99,45363	96,3000
Floors	82272,79277	5250,54173	29494286,17170	072E-04	1744775,45116	286083078,69915	265161692,49863	20952732,02925	140834892,34600
Latero Cementizio - 30 cm	66443,90112	4444,72270	25247397,38256	016E-04	1459781,60463	219009049,56803	203903677,41423	15090794,04861	127562079,07614
Pavimento generico - 300 mm	11956,76809	608,69653	3207998,73239	042E-04	215277,56996	50666125,51267	46272846,89959	4427968,45995	10025967,30431
Pavimento generico - 300 mm 2	3872,12356	197,12251	1038890,05675	014E-04	69716,27657	16407903,61845	14985168,18481	1433969,52069	3246845,96555

Figura 48: Report di Tally su Excel

Il Report di Tally in formato Excel è diviso in Fogli e quello che verrà utilizzato per il passo successivo su Dynamo è: *Category-Family* (figura 48).

Il primo problema riscontrato è stata l'organizzazione dei dati, ottenuti da Tally su Excel, da importare su Dynamo. L'organizzazione è stata impostata nel seguente modo: su un file Excel sono stati creati 7 fogli, ciascuno corrispondeva a una delle 7 Categorie, e, all'interno di questi, nella prima colonna era presentata la lista delle Famiglie della Categoria, nella seconda la lista dei Tipi e nella terza i valori di GWP corrispondenti (Figura 49).

	A	B	C
1	Porta-Apertura	0915 x 2134mm	163,46922
2	Scorrevole - Vetro	100 x 210 cm	459,20321
3	Scorrevole Semplice	100 x 210 cm	138,22170
4	Porta Due Ante	80 x 210 T S2 x A5 x L5	503,94276
5	M_Riquadro singolo	porta U.S.	753,60506
6	M_Riquadro singolo	porta U.S. 2	2052,62518
7	M_Riquadro singolo	porta U.S. 3	5151,10640
8	M_Riquadro singolo	porta U.S. 4	282,17152
9	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli	13764,83040
10	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 10	3109,52494
11	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 2	23217,78622
12	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 3	2238,85796
13	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 4	3731,42993
14	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 5	1534,03230
15	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 6	3731,42993
16	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 7	1658,41330
17	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 8	6219,04988
18	Saracinesca per Garage (1)	portellone scorrevole moli 9	7877,46318
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

Figura 49: Organizzazione su Excel delle liste per Dynamo

Nella prova successiva la colonna delle famiglie è stata eliminata perché inutile e perché avrebbe richiesto dei passaggi in più su Dynamo.

4.3 Secondo passaggio della strategia d'integrazione BIM-LCA: Dynamo

Per impostare lo script di Dynamo è stato utilizzato, come primo tentativo, quello del caso studio del capitolo precedente. Il primo step corrisponde all'importazione, su Dynamo, degli input da Tally: con il comando *Data.ImportExcel* i valori restituiti da Tally su Excel vengono caricati sotto forma di liste di dati (figura 50).

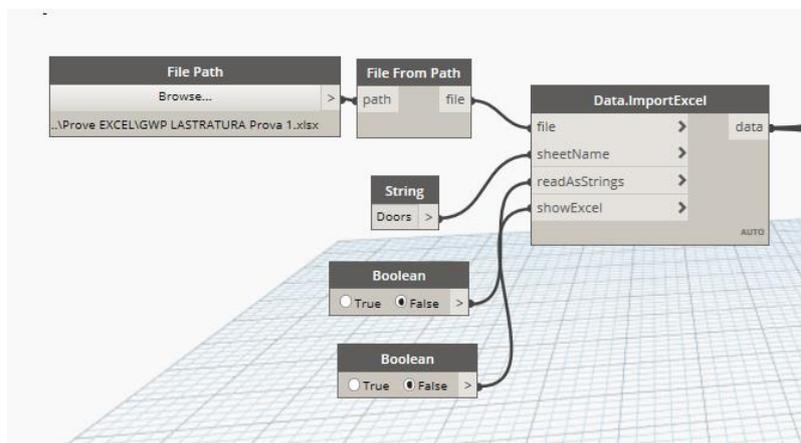


Figura 50: Comando importazione dati Excel su Dynamo

La prima Categoria importata e analizzata è stata quella delle Porte-*Doors*. Successivamente, sono state caricate tutte le sue Famiglie, per creare il primo gruppo di script che verrà copiato e replicato per ciascuna Categoria del modello. Dynamo organizza i valori e i dati secondo delle liste che possono essere modificate e riorganizzate in diversi modi.

I passaggi da fare all'inizio per organizzare le liste di dati importati da Excel sono:

- Trasposizione della lista: Dynamo scarica i valori secondo le Righe di Excel, (ogni Riga di Excel è una lista) perciò il primo step è stato quello di trasportare i dati scaricati facendo diventare ogni lista l'elenco dei valori presenti sulle Colonne;
- Divisione delle liste: poiché ciascuna lista contiene i valori delle colonne, sono state divise le liste dei nomi dei Tipi (prima colonna) dalla lista dei valori di GWP (seconda colonna) visto che nel comando per la compilazione del Parametro condiviso GWP su Revit verrà utilizzata solo la seconda;
- Eliminazione valori nulli: Dynamo, di default, importa le liste di valori delle colonne che sono state effettivamente compilate (le colonne vuote non le carica) e di ogni colonna importa i valori delle prime 131 righe, anche se nulle. L'ultimo passaggio è stato quindi quello di eliminare i valori nulli.

In seguito, tramite il comando *Family.ByName*, è stata importata da Revit la prima Famiglia della categoria Porta-Doors e la sua corrispettiva lista di Tipi. Attraverso il comando *SetParameterByName* (Figura 51) sono stati collegati tutti gli input (lista dei valori di GWP da Tally, lista dei Tipi di Revit corrispettivi e Nome del parametro GWP da *Codeblock*) così da poter compilare automaticamente su Revit i valori del parametro condiviso GWP.

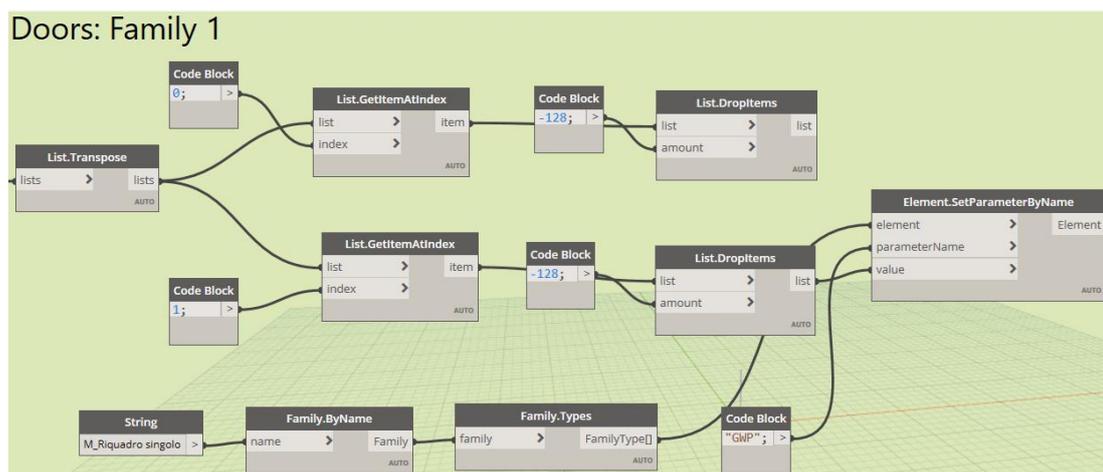


Figura 51: Script di Dynamo per il primo gruppo di Famiglia della Categoria Doors

Facendo questi passaggi per ciascuna famiglia si visto come lo script diventasse sempre più complicato e laborioso, risultato che va contro i vantaggi che Dynamo concede. Il concetto di automazione, perché sia efficace, deve essere veloce, intuitivo e facilmente replicabile in contesti simili: se i passaggi per costruire e organizzare lo script sono maggiori e più complicati della semplice compilazione manuale vuol dire che c'è qualcosa che non va nella progettazione dello script. Come si può vedere nella figura 52, solo per la Categoria delle Porte (prima categoria di sette), composta da sei famiglie, lo script era eccessivamente lungo e articolato.

Il passaggio successivo è stato, quindi, quello di riprogettare lo script cercando di renderlo più snello, veloce e scalabile. Invece di ragionare a blocchi di Categorie è stato deciso di considerarle tutte insieme, in un'unica lista, e di importarle quindi una volta sola con un solo comando. Per farlo, è stato prima necessario modificare il file di Excel da importare su Dynamo: tutti i Tipi, e i corrispettivi valori di GWP, di tutte le Categorie sono stati inseriti in un unico Foglio Excel.

Nel fare una prova con la Categoria delle Porte è venuto fuori un problema che ha richiesto la modifica del workflow metodologico della tesi: l'ordine diverso delle liste di Tally e di Revit. Come accennato prima, Dynamo importa i dati secondo delle liste, queste possono essere modificate in diversi modi e più volte. Nella prova con la Categoria delle porte si è notato come l'ordine della lista dei Tipi ottenuta da Tally e l'ordine della lista dei Tipi di Revit non coincidessero e come fosse impossibile farle coincidere, facilmente e in pochi passaggi, tramite i soli blocchi presenti già su Dynamo. Tally ha restituito la lista dei nomi dei Tipi secondo un ordine alfabetico, con i numeri all'inizio della lista. Dynamo, invece, importa la lista dei Tipi da Revit seguendo l'ordine numerico crescente dell'ID, prima delle famiglie e poi, all'interno di queste, dei Tipi (figura 53). Dynamo permette, attraverso diversi tipi di blocchi, di modificare l'ordine delle liste, ma questo deve avvenire secondo uno schema preciso, ad esempio spostando tutti i dati in posizione pari, o

eliminando un dato in una posizione specifica, o dividendo le liste in più parti ricomponendole in maniera diversa dopo ecc.

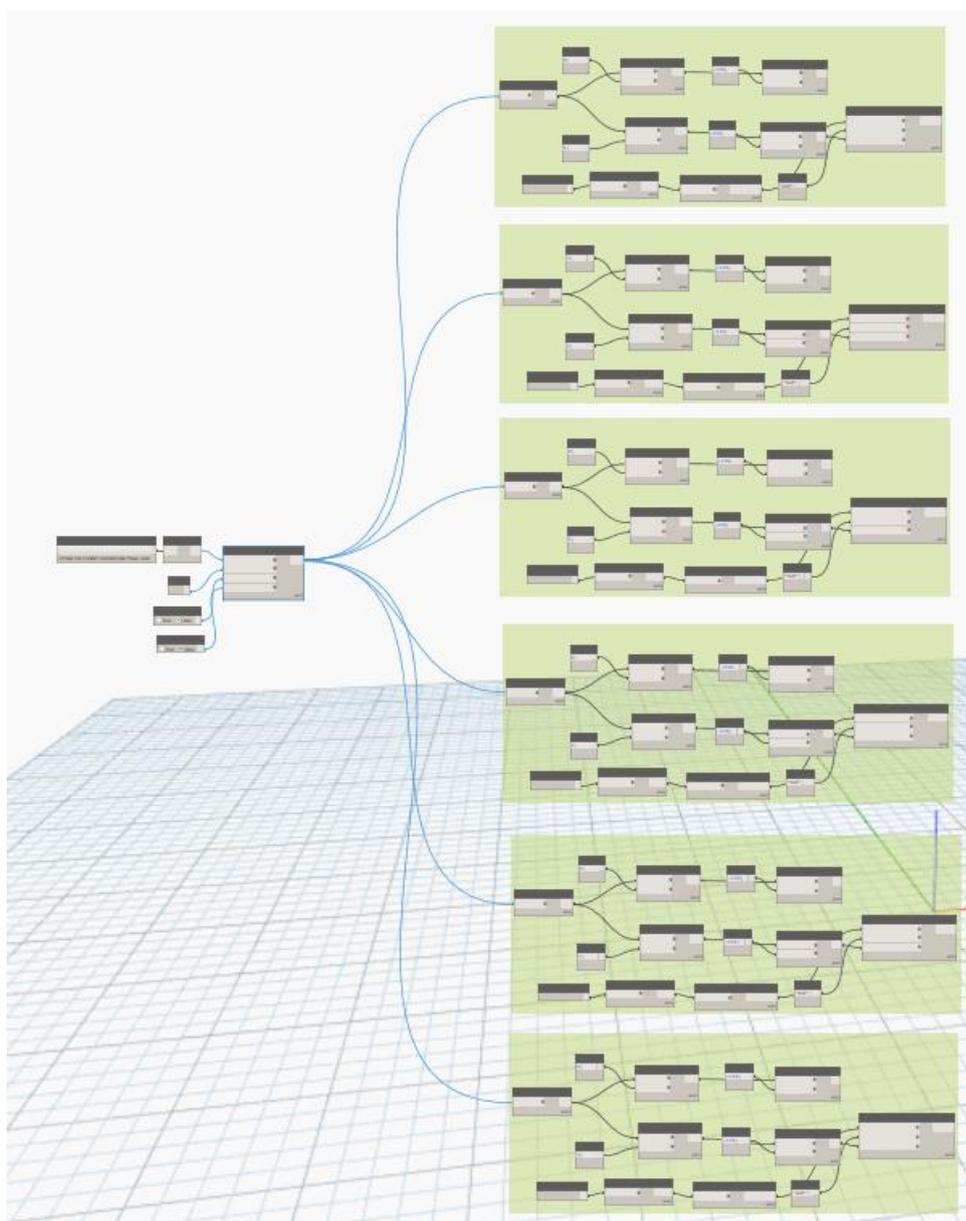


Figura 52: Script di Dynamo per la Categoria Doors

Il problema è che il diverso ordine delle due liste non si riconduceva a nessun tipo di schema e quindi modificarle per renderle uguali, su Dynamo, avrebbe richiesto una grande quantità di comandi che, riconducendoci al discorso di prima, andava ad intaccare i vantaggi dell'automatizzazione del processo. Un'alternativa sarebbe quella di creare dei blocchi di comando da nuovo su Dynamo, operazione che richiede al conoscenza del linguaggio di programmazione Python, che ovviamente, per un professionista nel campo dell'edilizia, non è così scontata.

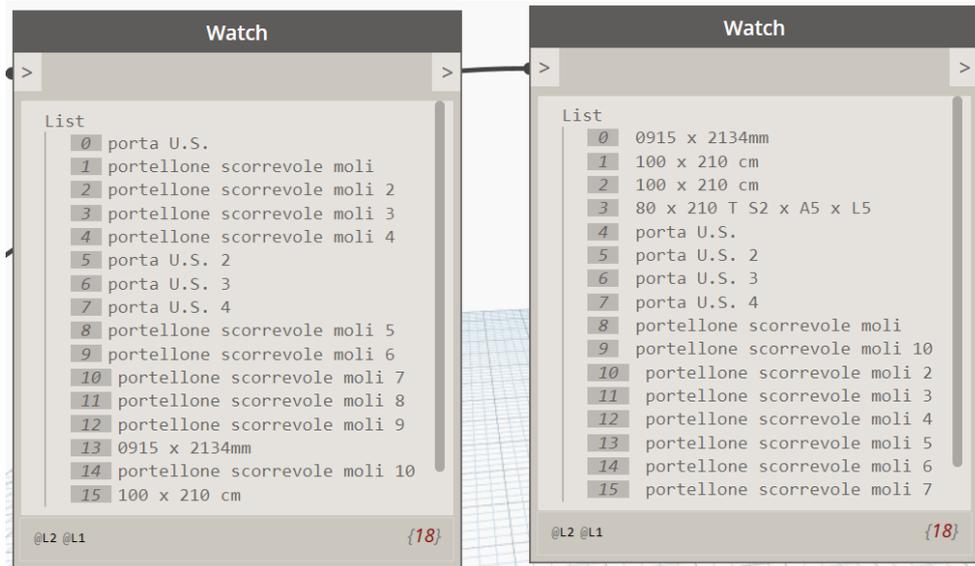


Figura 53: Dynamo: lista dei Tipi da Revit a sinistra e dei Tipi da Tally a destra

Per far sì che l'ordine dei Tipi, e dei corrispettivi valori di GWP da Tally, coincidano con quelli di Revit, il passaggio ideato è stato quello di esportare, da Dynamo su Excel, la lista dei Tipi delle Famiglie di tutte e 7 le Categorie di Revit, riordinare la lista di Tally in base a quella di Revit appena esportata e importare su Dynamo la lista finale di Tally con i valori di GWP (ordinata secondo la lista di Revit). Le Categorie selezionate da esportare da Revit a Excel sono quelle utilizzate da Tally, e sono sette: Doors, Floors, Walls, Structural Columns, Windows, Roofs e Columns.

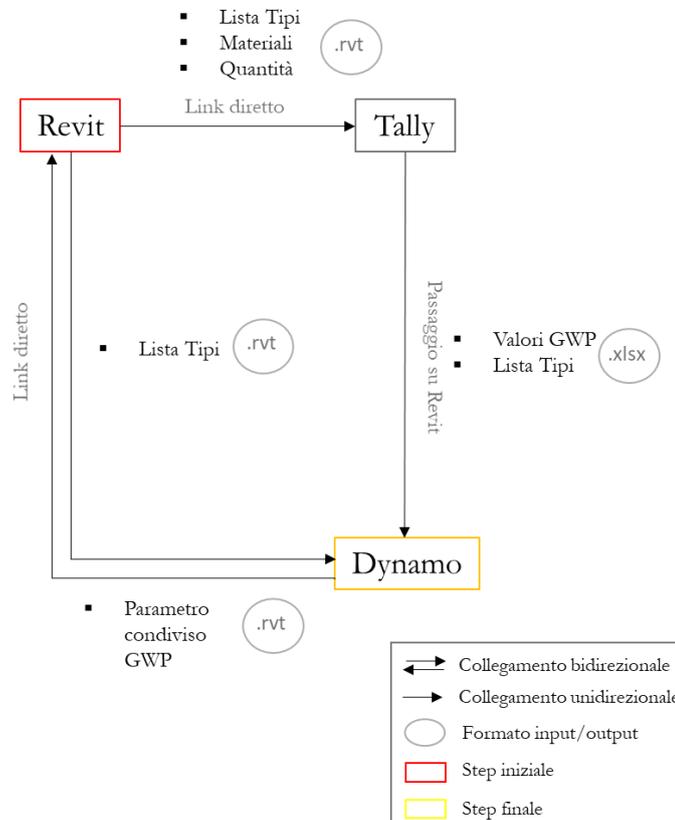


Figura 54: Nuovo workflow metodologico

Una volta organizzate le liste è stato utilizzato il comando *Element.SetParameterByName* per ciascuna Categoria e, una volta lanciato lo script, i valori di GWP calcolati su Tally sono stati direttamente inseriti nel parametro condiviso di ciascun elemento. Si può osservare il nuovo workflow metodologico nella figura 54.

Ricapitolando i passaggi per la realizzazione dello script finale su Dynamo (Allegato 4) sono stati:

1. Le liste di tutti i Tipi delle sette Categorie sono state esportate a blocchi, su Dynamo da Revit, tramite il comando *AllFamilyTypesOfCategory*, presente nel pacchetto Clockwork scaricabile dal plugin stesso. Successivamente queste liste sono state unite in un'unica lista. Questa lista è stata poi esportata su un file Excel, creato ad hoc e chiamato Export Family Types, tramite il comando *Data.ExportExcel*; (Figura 55)

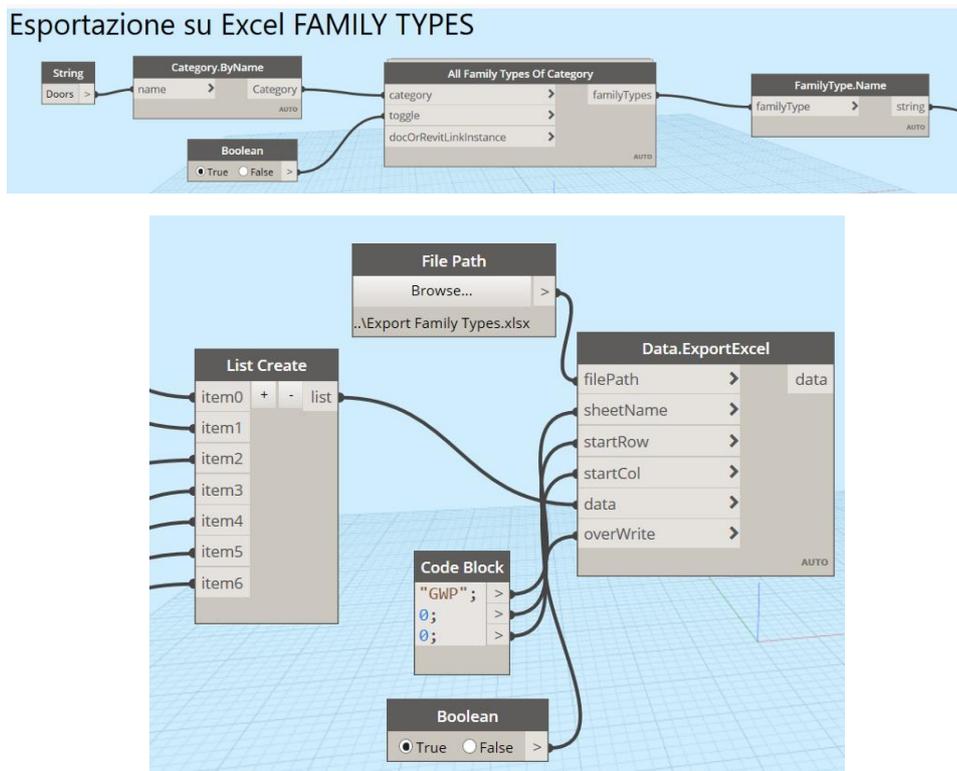


Figura 55: Blocchi di Dynamo per l'esportazione della lista dei Family Types su Excel

2. Il file Excel esportato da Dynamo è organizzato in modo che ogni colonna rappresenti la lista dei Tipi di tutte le Categorie di Revit selezionate (figura 56). Queste colonne sono state copiate e incollate in un foglio Excel, il quale contiene anche i dati e i valori di GWP da Tally. Attraverso la funzione CERCA.VERTICALE (figura 57) è stato possibile assegnare i valori della lista di Tally a quelli della lista di Revit. Si è ottenuto così una lista finale che ha l'ordine della lista di Revit ma a cui sono stati assegnati i valori della lista di Tally. L'unica condizione per utilizzare il comando su Excel è che le liste da confrontare siano una sotto l'altra, ovvero che condividano la stessa colonna.

Per questa ragione le liste di Tally con i valori di GWP sono state inserite subito sotto le liste esportate di Revit. In figura 58 è presente un esempio del procedimento applicato alla Categoria dei Walls: la tabella sotto grigia contiene la lista dei Tipi, con i corrispettivi valori di GWP, da Tally, la tabella di sopra invece contiene la lista dei Tipi da Revit, tramite il comando di Excel CERCA.VERTICALE, è stato possibile assegnare i valori di GWP della tabella sotto alla tabella sopra.

porta U.S.	Pavimento generico - 300 mm	Vetrata inclinata	600 x 900 mm 3	W250X73 2	Interno - Parete 138 mm (1-hr)	lucernai 2
portellone scorrevole molli	Latero Cementizio - 30 cm	tetto lucernai	700 x 1500 mm 4	W22X25	Generico - 250 mm	lucernai 8
portellone scorrevole molli 2	Pavimento generico - 300 mm 2	tetto lucernai 3	500 x 1200 mm 3		Generico - Muratura 150 mm	lucernai 9
portellone scorrevole molli 3		Tetto generico - 400 mm 2	55 x 67 mm		Facciata continua	lucernai 27
portellone scorrevole molli 4		tetto lucernai 4	55 x 79 mm		Muro prefabbricato 0,4 m	lucernai 28
porta U.S. 2			75 x 60 mm		parete interna (lamiera 50 mm)	lucernai 29
porta U.S. 3			55 x 71 mm		parete interna policarb (180 mm)	lucernai 30
porta U.S. 4			450 x 450 mm		parete interna policarb (80 mm)	lucernai 31
portellone scorrevole molli 5			acciaio 34 x 90 cm		muretto tetto	FCA 2
portellone scorrevole molli 6			acciaio 32 x 115 cm		parete interna policarb (40 mm)	FCA 3
portellone scorrevole molli 7			acciaio 28 x 76 cm		parete interna policarb (15 mm)	FCA 4
portellone scorrevole molli 8			acciaio 26 x 40 cm		parete interna (lamiera 150 mm)	FCA 5
portellone scorrevole molli 9			acciaio 26 x 88 cm 2		parete interna (telone 1.5 mm)	lucernai 32
0915 x 2134mm			650 x 800 mm		Interno - Parete 120 mm 2	FCA
portellone scorrevole molli 10			830 x 800 mm		Interno - Parete 120 mm 3	lucernai 33
5000 x 5000 mm			500 x 800 mm		Interno - Parete 100 mm 2	lucernai 34
100 x 210 cm			700 x 800 mm		Interno - Parete 200 mm 2	
80 x 210 T S2 x A5 x L5			800 x 800 mm		Interno - Parete 350 mm	
100 x 210 cm			550 x 800 mm		Interno - Parete 400 mm	
			45 x 79 mm		Interno - Parete 300 mm	
			550 x 720 mm		Interno - Parete 500 mm	
			450 x 720 mm		Interno - Parete 80 mm	
			650 x 1500 mm		Generico - Muratura 150 mm 2	
			550 x 1500 mm		Generico - 150 mm 2	
			400 x 1200 mm			
			400 x 1450 mm			
			800 x 1000 mm			
			400 x 1050 mm			
			400 x 800 mm			
			400 x 700 mm			
			650 x 700 mm			
			500 x 700 mm			
			700 x 700 mm			
			800 x 700 mm			
			550 x 700 mm			
			450 x 700 mm			
			650 x 600 mm			
			400 x 600 mm			
			500 x 600 mm			
			650 x 550 mm 2			
			650 x 500 mm			
			550 x 650 mm 2			
			550 x 550 mm			
			450 x 550 mm			
			450 x 600 mm			
			700 x 280 mm			
			250 x 400 mm			
			250 x 350 mm			
			acciaio 26 x 88 cm			
			acciaio 28 x 87 cm			
			acciaio 33 x 76 cm			
			950 x 950 mm			
			950 x 650 mm			
			500 x 950 mm			
			500 x 450 mm 2			
			850 x 950 mm 2			
			1150 x 450 mm 2			
			1150 x 550 mm 3			
			1150 x 650 mm 4			
			550 x 900 mm 2			
			600 x 950 mm			

Figura 56: Esportazione da Dynamo delle liste dei Tipi di Revit, in ordine da sinistra: Doors, Floors, Roofs, Columns, Structural Columns, Walls e Windows

I	J	K
W250X73 2	=CERCA.VERT(I1;\$I\$5:\$J\$6;2;FALSO)	
W22X25	CERCA.VERT(valore; matrice_tabella; indice; [intervallo])	
W22X25	13615,38494	
W250X73 2	5313,65596	

Figura 57: Comando su Revit CERCA.VERTICALE

Interno - Parete 138 mm (1-hr)	3407743,702
Generico - 250 mm	0
Generico - Muratura 150 mm	1703117,669
Facciata continua	0
Muro prefabbricato 0,4 m	1823705,212
parete interna (lamiera 50 mm)	789522,6343
parete interna policarb (180 mm)	4241564,669
parete interna policarb (80 mm)	1101048,344
muretto tetto	332,037286
parete interna policarb (40 mm)	103552,4293
parete interna policarb (15 mm)	2701,857949
parete interna (lamiera 150 mm)	2745490,076
parete interna (telone 1.5 mm)	110711,2357
Interno - Parete 120 mm 2	5292,573622
Interno - Parete 120 mm 3	31022,35697
Interno - Parete 100 mm 2	50293,97927
Interno - Parete 200 mm 2	666067,0052
Interno - Parete 350 mm	428148,7522
Interno - Parete 400 mm	1747164,247
Interno - Parete 300 mm	1718,63276
Interno - Parete 500 mm	176805,2672
Interno - Parete 80 mm	2386,875144
Generico - Muratura 150 mm 2	552756,056
Generico - 150 mm 2	398713,4786
Generico - 150 mm 2	398713,47864
Generico - Muratura 150 mm	1703117,66890
Generico - Muratura 150 mm 2	552756,05603
Interno - Parete 100 mm 2	50293,97927
Interno - Parete 120 mm 2	5292,57362
Interno - Parete 120 mm 3	31022,35697
Interno - Parete 138 mm (1-hr)	3407743,70204
Interno - Parete 200 mm 2	666067,00516
Interno - Parete 300 mm	1718,63276
Interno - Parete 350 mm	428148,75220
Interno - Parete 400 mm	1747164,24728
Interno - Parete 500 mm	176805,26724
Interno - Parete 80 mm	2386,87514
muretto tetto	332,03729
Muro prefabbricato 0,4 m	1823705,21218
parete interna (lamiera 150 mm)	2745490,07607
parete interna (lamiera 50 mm)	789522,63431
parete interna (telone 1.5 mm)	110711,23573
parete interna policarb (15 mm)	2701,85795
parete interna policarb (180 mm)	4241564,66892
parete interna policarb (40 mm)	103552,42925
parete interna policarb (80 mm)	1101048,34421

Figura 58: Esempio assegnazione valori di Tally (tabella grigia in basso) a lista di Revit (tabella bianca in alto)

Nella figura 58 si può notare come alcuni Tipi (nella tabella in alto) abbiano valore GWP nullo, questo valore è stato assegnato in automatico perché, come già spiegato nelle pagine precedenti, Tally carica sul programma solo i Tipi a cui sono stati assegnati dei materiali, mentre nella lista di sopra, da Revit, sono stati caricati tutti i Tipi presenti nella Categoria selezionata, anche quelli a cui non erano stati assegnati un materiale, per questo è stato deciso di assegnare a quest'ultimi un valore nullo. L'ultimo passaggio è stato quello di riportare la lista di Revit con i valori GWP in un unico foglio, così da velocizzare i passaggi di importazione su Dynamo. (Tabella 5)

Doors	GWP
porta U.S.	753,6050645
portellone scorrevole moli	13764,8304
portellone scorrevole moli 2	23217,78622
portellone scorrevole moli 3	2238,857957
portellone scorrevole moli 4	3731,429928
porta U.S. 2	2052,625181
porta U.S. 3	5151,1064
porta U.S. 4	282,1715159
portellone scorrevole moli 5	1534,032304
portellone scorrevole moli 6	3731,429928
portellone scorrevole moli 7	1658,413301
portellone scorrevole moli 8	6219,04988
portellone scorrevole moli 9	7877,463182
0915 x 2134mm	163,4692248
portellone scorrevole moli 10	3109,52494
5000 x 5000 mm	0
100 x 210 cm	459,2032073
80 x 210 T S2 x A5 x L5	503,9427567
100 x 210 cm	138,2217012
Floors	
Pavimento generico - 300 mm	3207998,732
Latero Cementizio - 30 cm	25247397,38
Pavimento generico - 300 mm 2	1038890,057
Roofs	
Vetrata inclinata	0
tetto lucernai	218900,117
tetto lucernai 3	26007199,67
Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
tetto lucernai 4	93376,76852
Columns	
600 x 900 mm 3	15773,5198
700 x 1500 mm 4	31278,93123
500 x 1200 mm 3	5842,044369
55 x 67 mm	169264,3931
55 x 79 mm	843233,8699
75 x 60 mm	7370,838388
55 x 71 mm	153697,7064
450 x 450 mm	4702,593905

acciaio 34 x 90 cm	266,8747833
acciaio 32 x 115 cm	19,4230539
acciaio 28 x 76 cm	9,126511803
acciaio 26 x 40 cm	2,884658622
acciaio 26 x 88 cm 2	20,46200949
650 x 800 mm	272148,7669
830 x 800 mm	25860,78307
500 x 800 mm	3894,696246
700 x 800 mm	21810,29898
800 x 800 mm	12463,02799
550 x 800 mm	86171,94318
45 x 79 mm	142831,8294
550 x 720 mm	16012,84217
450 x 720 mm	15012,03953
650 x 1500 mm	127843,4043
550 x 1500 mm	16065,62201
400 x 1200 mm	4673,635495
400 x 1450 mm	5647,309557
800 x 1000 mm	7789,392492
400 x 1050 mm	4089,431058
400 x 800 mm	6231,513994
400 x 700 mm	16221,70902
650 x 700 mm	96609,11014
500 x 700 mm	3367,576933
700 x 700 mm	4714,607706
800 x 700 mm	10776,69415
550 x 700 mm	10127,64035
450 x 700 mm	6061,638479
650 x 600 mm	217877,5861
400 x 600 mm	4673,635495
500 x 600 mm	2921,022185
650 x 550 mm 2	59556,39185
650 x 500 mm	3164,4407
550 x 650 mm 2	32787,6618
550 x 550 mm	12316,97688
450 x 550 mm	4819,686604
450 x 600 mm	5257,839932
700 x 280 mm	3914,991448
250 x 400 mm	584,2044369
250 x 350 mm	1703,929608
acciaio 26 x 88 cm	25,00206632
acciaio 28 x 87 cm	50,64863165
acciaio 33 x 76 cm	4,674176426
950 x 950 mm	252914,99
950 x 650 mm	37007,58839
500 x 950 mm	26803,91711
500 x 450 mm 2	6200,077619
850 x 950 mm 2	7280,941576
1150 x 450 mm 2	5169,076111
1150 x 550 mm 3	6317,759692

1150 x 650 mm 4	29865,77309
550 x 900 mm 2	9888,667344
600 x 950 mm	17676,34592
Structural Columns	
W250X73 2	5313,655964
W22X25	13615,38494
Walls	
Interno - Parete 138 mm (1-hr)	3407743,702
Generico - 250 mm	0
Generico - Muratura 150 mm	1703117,669
Facciata continua	0
Muro prefabbricato 0,4 m	1823705,212
parete interna (lamiera 50 mm)	789522,6343
parete interna policarb (180 mm)	4241564,669
parete interna policarb (80 mm)	1101048,344
muretto tetto	332,037286
parete interna policarb (40 mm)	103552,4293
parete interna policarb (15 mm)	2701,857949
parete interna (lamiera 150 mm)	2745490,076
parete interna (telone 1.5 mm)	110711,2357
Interno - Parete 120 mm 2	5292,573622
Interno - Parete 120 mm 3	31022,35697
Interno - Parete 100 mm 2	50293,97927
Interno - Parete 200 mm 2	666067,0052
Interno - Parete 350 mm	428148,7522
Interno - Parete 400 mm	1747164,247
Interno - Parete 300 mm	1718,63276
Interno - Parete 500 mm	176805,2672
Interno - Parete 80 mm	2386,875144
Generico - Muratura 150 mm 2	552756,056
Generico - 150 mm 2	398713,4786
Windows	
lucernai 2	5113,042837
lucernai 8	5113,042837
lucernai 9	22065,36103
lucernai 27	119596,5128
lucernai 28	244159,8205
lucernai 29	289774,1689
lucernai 30	59891,52253
lucernai 31	98522,42271
FCA 2	91465,56222
FCA 3	2073,486948
FCA 4	718,0067406
FCA 5	1613,089444
lucernai 32	62351,04287
FCA	4650,791299
lucernai 33	82134,49813
lucernai 34	5556,61438

Tabella 5: Elenco Tipi da modello Revit con assegnati valori di GWP da Tally

3. In seguito la lista creata precedentemente (Tabella 5) è stata importata, su Dynamo, tramite il comando *Data.ImportExcel* (figura 59). Una volta importato il file è stato necessario organizzare le liste prima trasponendole, così da avere solo due liste (quella dei nomi dei Tipi e quella dei Valori), e poi dividendole tramite il comando *List.GetItemAtIndex* (nel file rinominato “*Tipi*” e “*Valori*” per comodità). Una volta divisa la lista principale in due, queste sono state nuovamente divise in 7 liste, ciascuna contenente i gruppi di nomi dei Tipi di una Categoria (Doors, Floors, Roofs ecc.). È bastato poi fare un copia e incolla della lista con i gruppi di nomi per quella con il gruppo dei Valori, perché essendo Tipo e Valore sulla stessa riga di Excel, entrambi occupano la stessa posizione. (figura 61)
4. Infine, sempre su Dynamo, è stato utilizzato il comando *Element.SetParameterByName* per compilare in automatico i valori del Parametro Condiviso GWP su Revit. Gli input di questo blocco sono: i valori di GWP importati e organizzati precedentemente (punto 2 e punto 3), le liste dei Tipi della Categoria selezionata da Revit attraverso il comando *AllFamilyTypesofCategory* e il nome del Parametro Condiviso GWP da *Codeblock* (figura 60).
5. Una volta completati tutti questi passaggi è stato cliccato il tasto *Run* e su Revit sono comparsi istantaneamente i valori di GWP di ciascun Tipo. (figura 62)

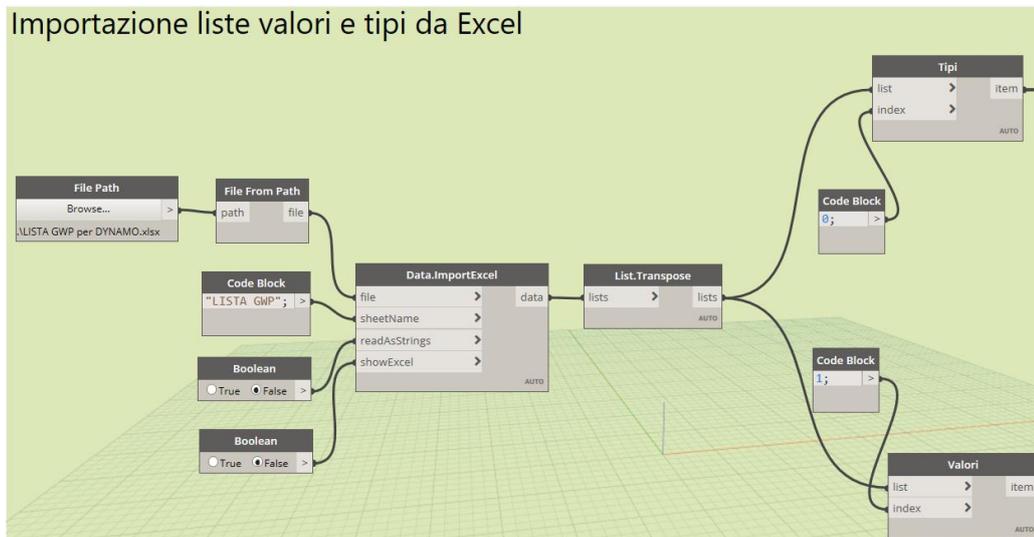


Figura 59: Importazione file Excel con dati GWP su Dynamo e organizzazione liste

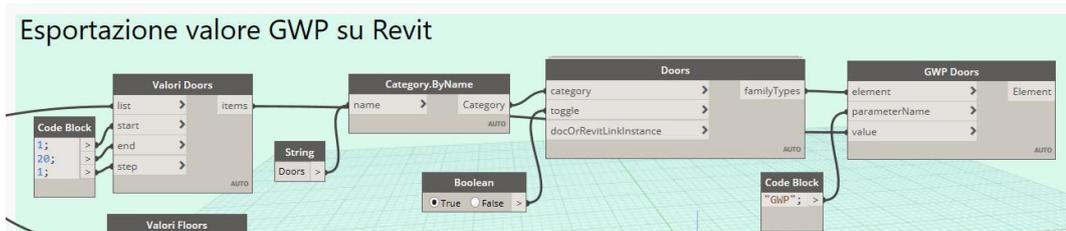


Figura 60: Blocchi di comando su Dynamo per esportazione del valore GWP sul modello Revit

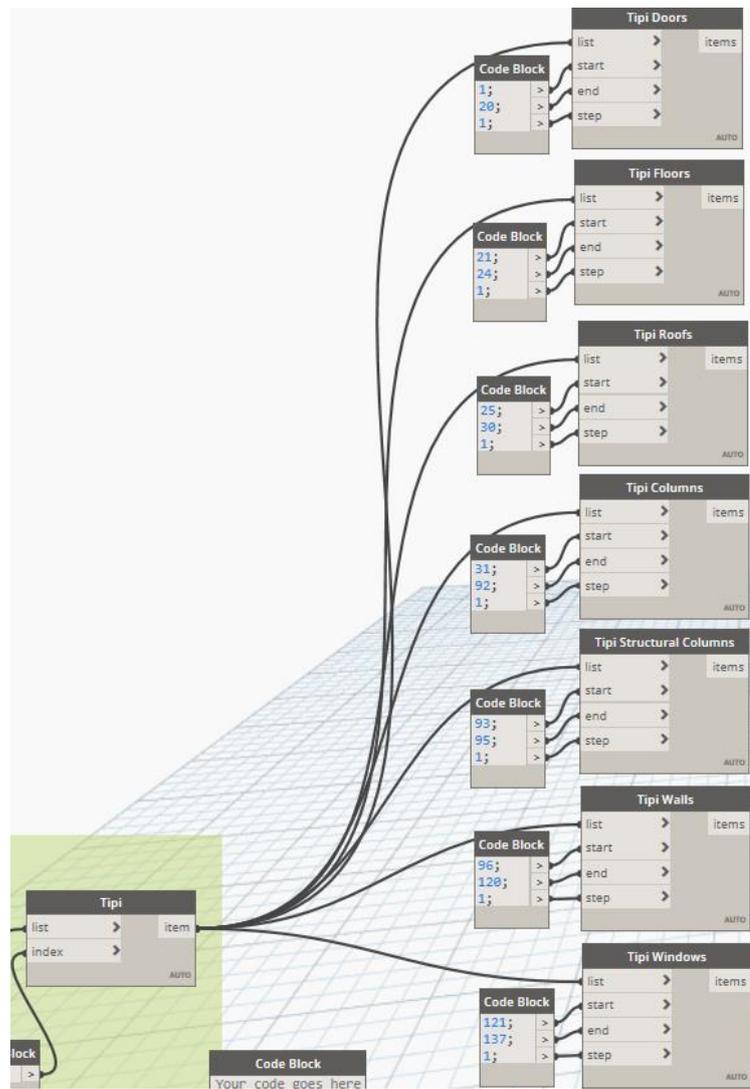


Figura 61: Divisione su Dynamo delle liste dei nomi dei Tipi in sette sotto liste a seconda delle Categorie

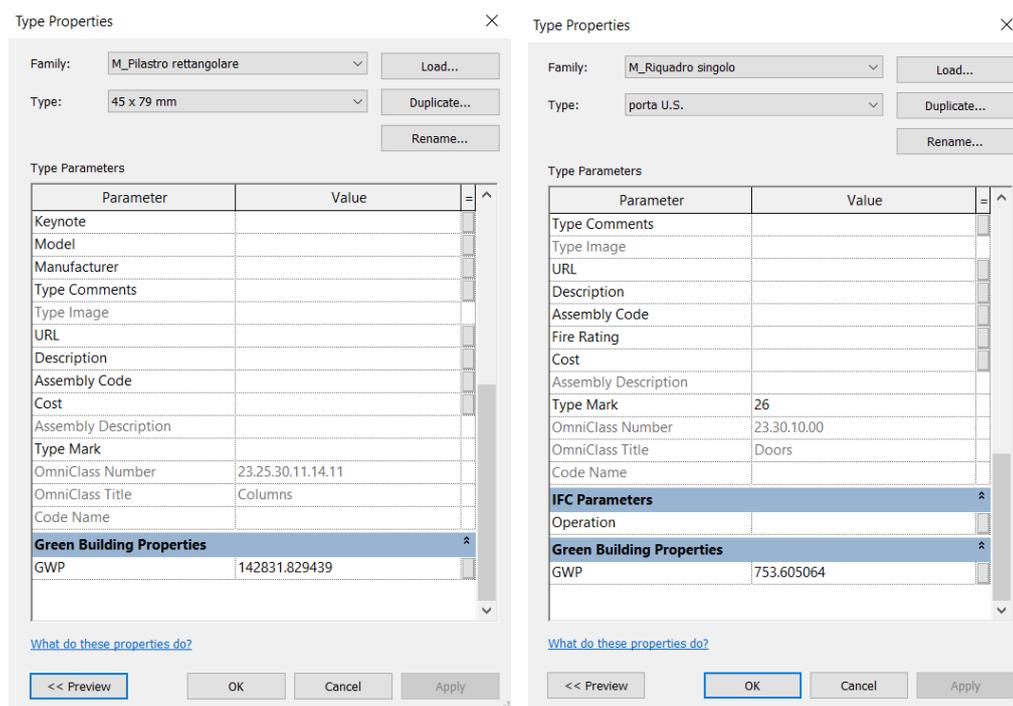


Figura 62: Compilazione automatica del Parametro Condiviso dei Tipi del modello su Revit (esempi)

5.4 Tematizzazione Modello Revit attraverso filtri di vista

Come anticipato nel caso studio del capitolo 3.4, il passaggio successivo è stato quello di tematizzare il modello Revit attraverso una scala di colori divisa in funzione di gruppi di valori GWP. La scala di colori parte dal colore verde per i valori più bassi di GWP, e quindi per gli elementi meno impattanti, passa dal giallo-arancione e arriva al colore rosso per i valori più alti di GWP, quindi per gli elementi che hanno un impatto ambientale maggiore. Nella normativa non è presente un riferimento a una scala di colori con i rispettivi range di valori GWP associati, la scelta di crearli arbitrariamente è stata fatta perché avere graficamente una rappresentazione dell'entità dell'impatto dei singoli elementi del modello, nella vista 3D, permette di individuare in maniera repentina gli elementi che hanno valori di GWP peggiori e che quindi dovrebbero essere modificati o rimossi in futuro. Inoltre, utilizzando la stessa tematizzazione su due opzioni di progetto diverse si può vedere subito quale ha una colorazione migliore rispetto a un'altra.

Per effettuare la tematizzazione sul modello Revit, innanzitutto, sono stati analizzati i risultati dell'analisi LCA con i valori di GWP. Questi sono poi stati divisi in 13 gruppi in base all'andamento del valore di GWP sui diversi Tipi. Successivamente sono stati impostati i filtri di vista attraverso il comando su Revit *View* → *Filters*. (Figura 63)

FILTRI GWP	RANGE VALORI GWP
FILTRO GWP 1	0-500
FILTRO GWP 2	500-1600
FILTRO GWP 3	1600-5000
FILTRO GWP 4	5000-10000
FILTRO GWP 5	10000-20000
FILTRO GWP 6	20000-30000
FILTRO GWP 7	30000-45000
FILTRO GWP 8	45000-100000
FILTRO GWP 9	100000-400000
FILTRO GWP 10	400000-1000000
FILTRO GWP 11	1000000-8000000
FILTRO GWP 12	8000000-17000000
FILTRO GWP 13	17000000-27000000

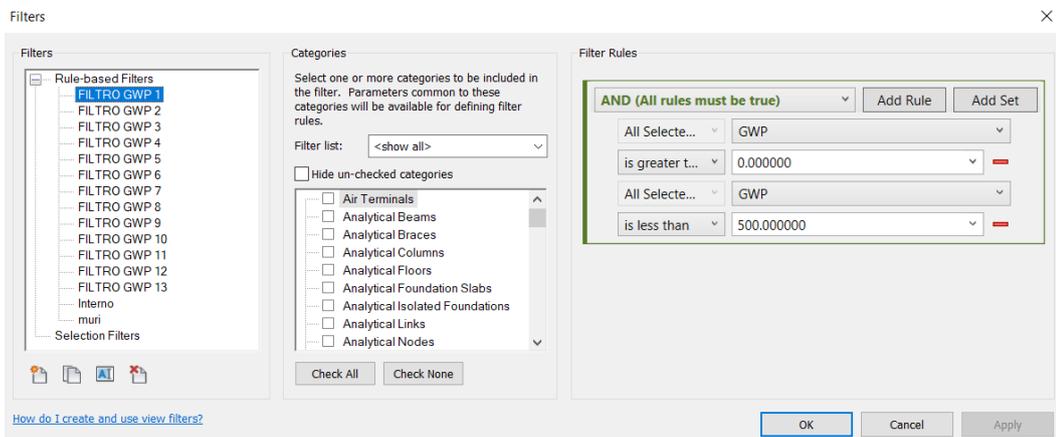


Figura 63: Divisione gruppi di valori del GWP su Excel sopra e impostazione Filtri di vista su Revit sotto

I filtri di vista creati sono stati caricati nelle Impostazioni di Visibilità (*Visibility/Graphic Overrides*). A questa lista di filtri sono stati associati i colori, come in Figura 64.

Visibility/Graphic Overrides for 3D View: Architectural 3D filtro di vista

Model Categories | Annotation Categories | Analytical Model Categories | Imported Categories | Filters

Name	Visibility	Projection/Surface			Cut		Halftone
		Lines	Patterns	Transparen...	Lines	Patterns	
FILTRO GWP 1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 3	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 4	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 5	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 6	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 7	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 8	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 9	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 10	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 11	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 12	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
FILTRO GWP 13	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Add Remove Up Down

All document filters are defined and modified here Edit/New...

OK Cancel Apply Help

GWP

17000000-27000000
8000000-17000000
1000000-8000000
400000-1000000
100000-400000
45000-100000
30000-45000
20000-30000
10000-20000
5000-10000
1600-5000
500-1600
0-500

Figura 64: Impostazione Visibilità su Revit e assegnazione colori ai gruppi di GWP

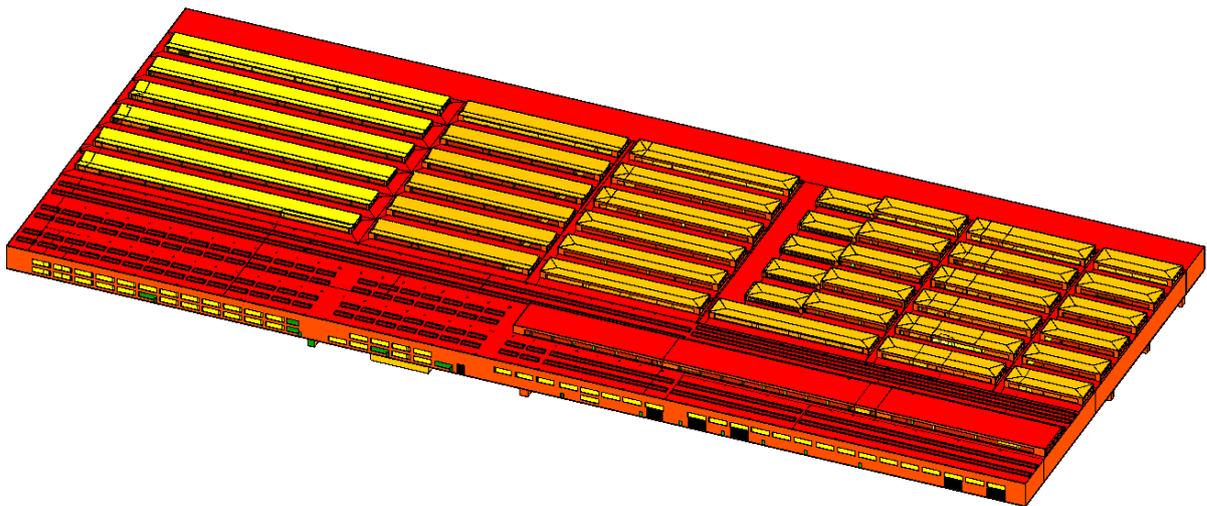


Figura 65: Modello Revit con Filtri di Vista attivati

Nella figura 65 è presente il modello con i filtri di vista applicati. Da uno sguardo veloce si può osservare come le Categorie di elementi con i colori più tendenti al rosso siano il Tetto e i Muri. Per rendere questa tematizzazione ancora più efficace è stato deciso di aggiungere un grafico, direttamente sul modello di Revit, che contenga i nomi delle Categorie e le percentuali di GWP associate, sul valore totale.

Per raggiungere questo nuovo obiettivo è stato utilizzato nuovamente Dynamo. Inizialmente, è stato scaricato, direttamente da Dynamo, il pacchetto “Archi-lab Mandril”, questo permette di ottenere diversi tipi di grafici (a torta, ad area, a dispersione, a ciambella ecc.) inserendo una lista di valori di input e impostando i colori, la grandezza delle scritte e lo stile del grafico.

I passaggi per la realizzazione dei grafici sono stati:

1. Sono stati raccolti i dati e i corrispettivi valori da inserire nel blocco *Donut.ChartDataObject*. La lista con i nomi dei dati, ovvero le 7 Categorie già citate, è stata fatta tramite il comando *CodeBlock*, mentre la lista con i valori numerici è stata ottenuta unendo le liste dei valori importati da Excel, come in figura 61. Successivamente è stato applicato il comando *Math.Sum* che ha permesso di sommare tutti i valori di GWP di ciascuna Categoria e avere così un solo valore totale per lista. È stato poi utilizzato il comando *Math.Ceiling* per far diventare il valore di ciascuna riga un numero intero.
2. Una volta aggiustate le liste è stato utilizzato il comando *DonutChart.Data* (Figura 67) che raccoglie i nomi e i valori da inserire nel grafico. Il risultato verrà poi collegato al comando *DonutChart.Chart* che serve per raggruppare sia i dati che lo stile del grafico da mandare poi al blocco finale. Lo stile viene definito attraverso il comando *DonutChart.Style* (Figura 66), il quale permette di impostare la grandezza del font delle scritte, il nome del grafico, il colore dei margini delle aree e la loro grandezza. Si possono definire anche i colori delle aree del grafico: dal comando *Color* si inserisce una lista, creata tramite il comando *List Create*, di valori che identificano i diversi colori, questi sono stati scelti tramite il comando *Color Palette*.

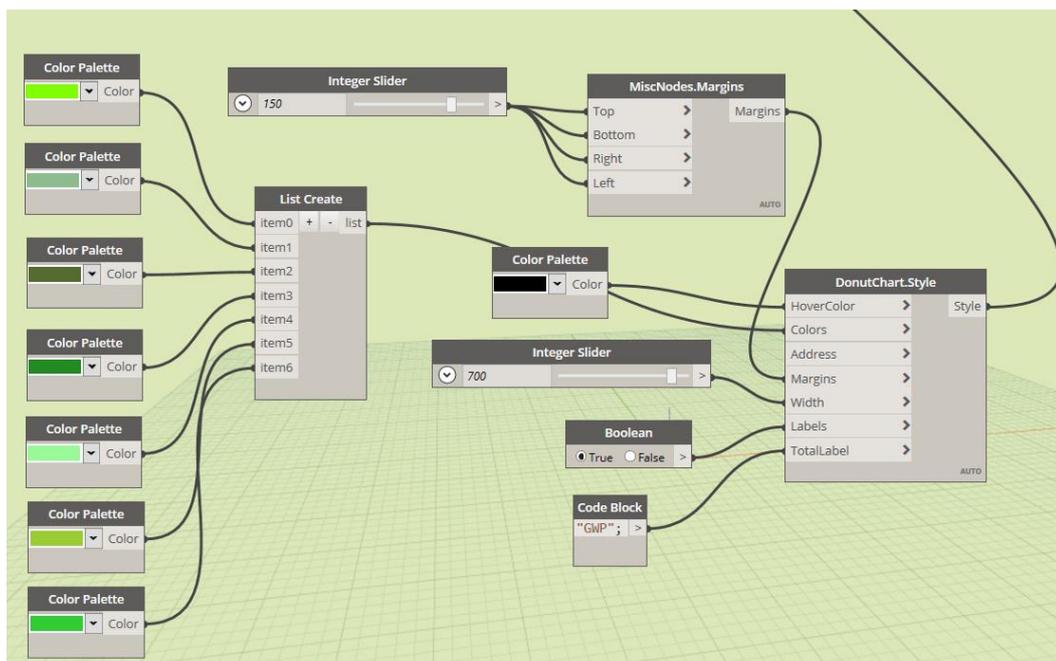


Figura 66: Blocchi di comando su Dynamo per impostare lo stile del grafico a ciambella

3. Una volta completate tutte le impostazioni, si collegano i comandi precedentemente settati al comando *Create Report* (figura 67) che crea un report.
4. Quest'ultimo viene poi collegato al blocco *Report Window* che consente di visualizzare, una volta cliccato sulla casella *Launch Window*, sulla schermata principale di Dynamo il grafico a ciambella con tutte le informazioni inserite prima (Figura 68).

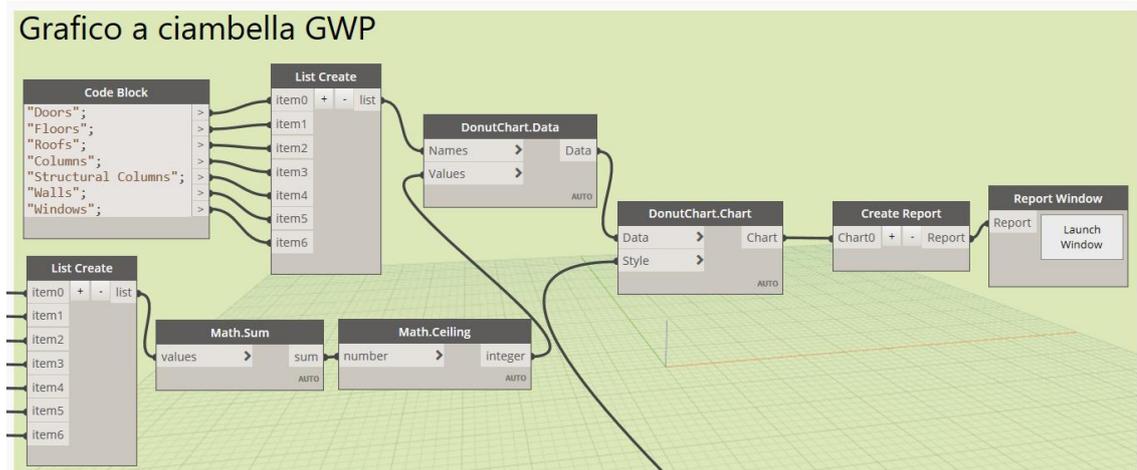


Figura 67: Blocchi di comando su Dynamo per impostare il grafico a ciambella dei valori di GWP

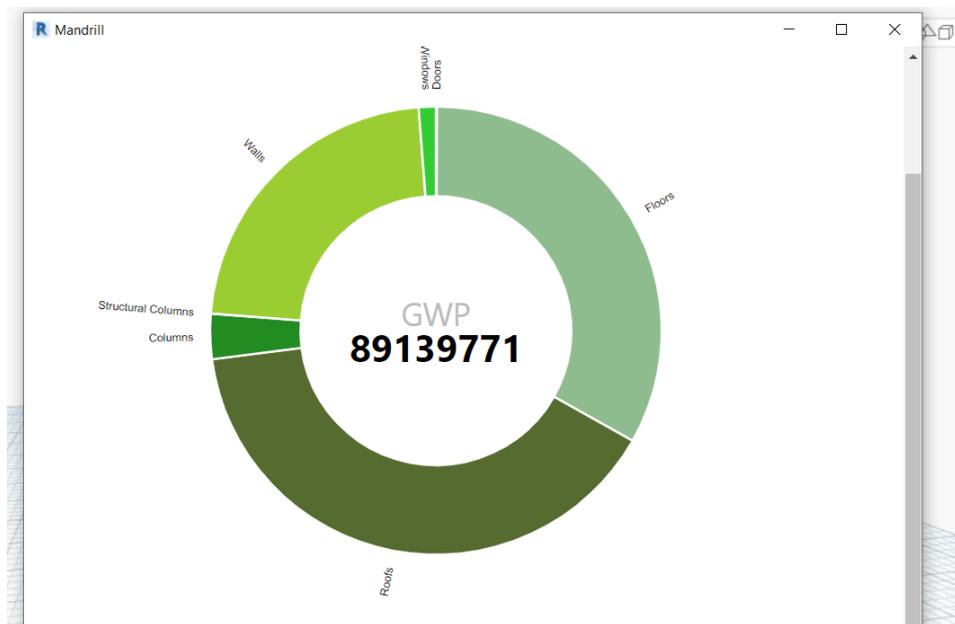


Figura 68: Grafico a ciambella con valore totale di GWP al centro

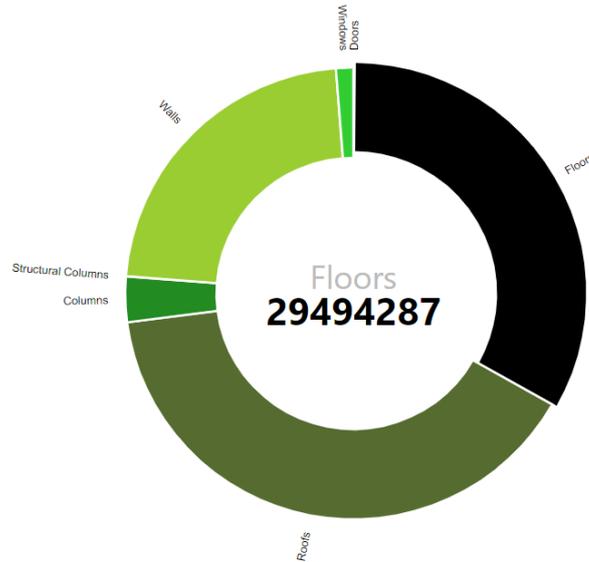
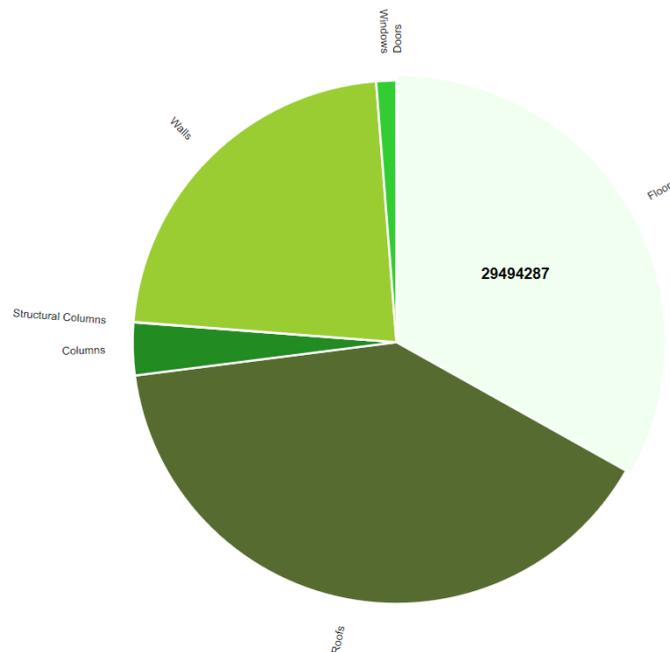


Figura 69: Grafico a ciambella con spicchio selezionato in corrispondenza della Categoria Floors, valore di GWP al centro

Cliccando sugli spicchi del grafico a ciambella, in corrispondenza delle diverse Categorie, è possibile visualizzare il valore totale di GWP della categoria selezionata (figura 69).

Nel pacchetto Archi-lab_Mandrill, sono presenti altri tipi di grafici, questi sono stati provati e si possono osservare nella Figura 70.

Mandrill



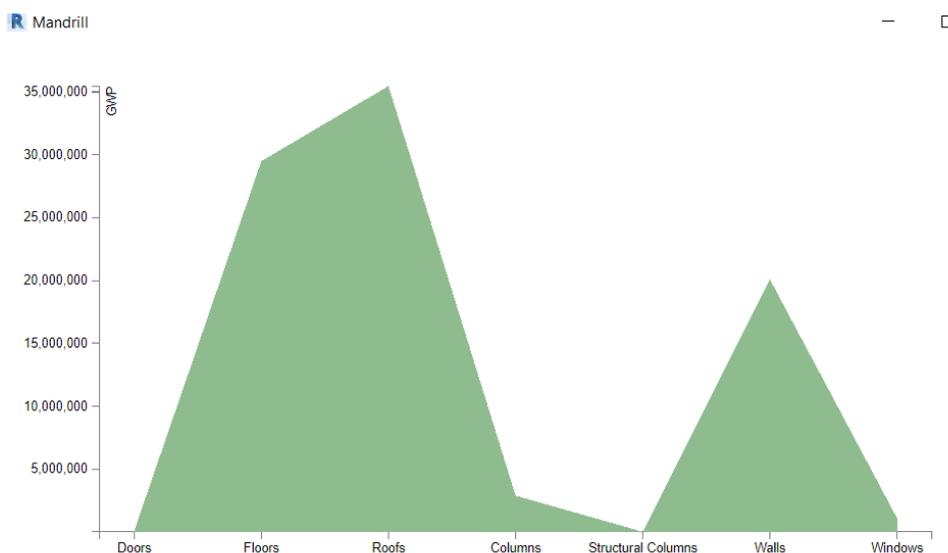


Figura 70: Grafico a Torta e Grafico ad Area con i valori di GWP, da Dynamo

Il problema di questi grafici è che la visualizzazione avviene in una finestra a parte, sopra la schermata principale di Dynamo. Non è quindi un'immagine che si può scaricare e non è collegata graficamente al modello su Revit in nessun modo. Così, il passo successivo è stato quello di individuare un altro pacchetto Dynamo che permettesse di creare un grafico la cui visualizzazione avvenisse anche sul modello.

Dopo diverse ricerche è stato individuato un pacchetto chiamato Data-Shapes che permette di impostare il grafico e di inviarlo sul modello di Revit in una vista "Draft view" (Vista di dettaglio). I passaggi per impostare il grafico a torta "Draft View" (figura 71) sono praticamente identici a quelli descritti sopra: una volta raccolti e organizzati i nomi delle Categorie e i rispettivi valori totali di GWP si è passati, attraverso il comando *PieChart*, a definire lo stile del grafico. In questo caso è stato necessario modificare l'ordine delle Categorie visualizzate sul grafico a torta perché alcune hanno un valore così basso di GWP che, se attaccate ad altre con valore basso, tendono a sovrapporsi e a non essere più distinguibili. Quindi grazie al comando *List.Reorder* l'ordine dei nomi delle Categorie è stato modificato in modo da avere quelle con valori alti di GWP subito vicine a quelle con valori bassi di GWP.

L'ultimo blocco utilizzato è stato *MultipleInputForm*, il quale raccoglie tutte le impostazioni del grafico e restituisce una finestra in cui è presente l'immagine del grafico a torta e un comando *Push on a draft view* per inviarlo nella vista di dettaglio del modello su Revit (Figura 72 e 73).

Esteticamente parlando, i grafici descritti precedentemente (Figura 68 e 69) sono più belli e anche più chiari e definiti, ma avere il grafico a disposizione sul modello di Revit è utile perché permette di inserirlo direttamente in una tavola finale di presentazione, nel caso si voglia monetizzare lo studio fatto.

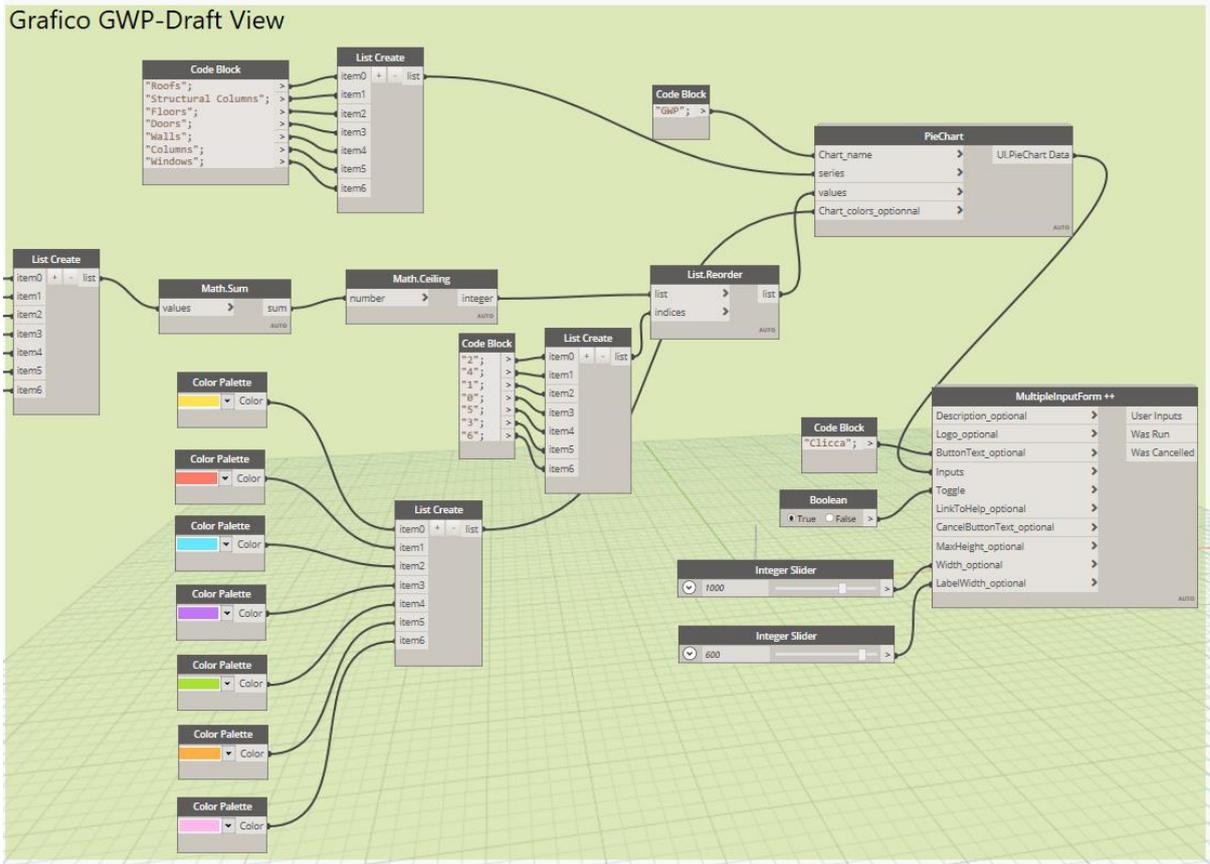


Figura 71: Grafico a Torta da pacchetto Data-Shapes di Dynamo

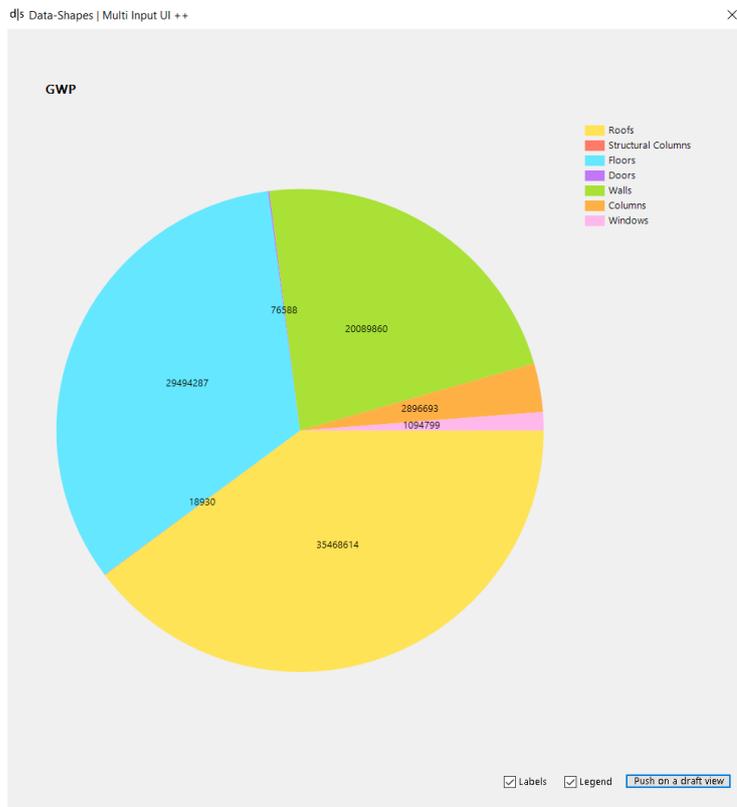


Figura 72: Visualizzazione grafico a Torta valori GWP da pacchetto Dynamo Data-Shapes

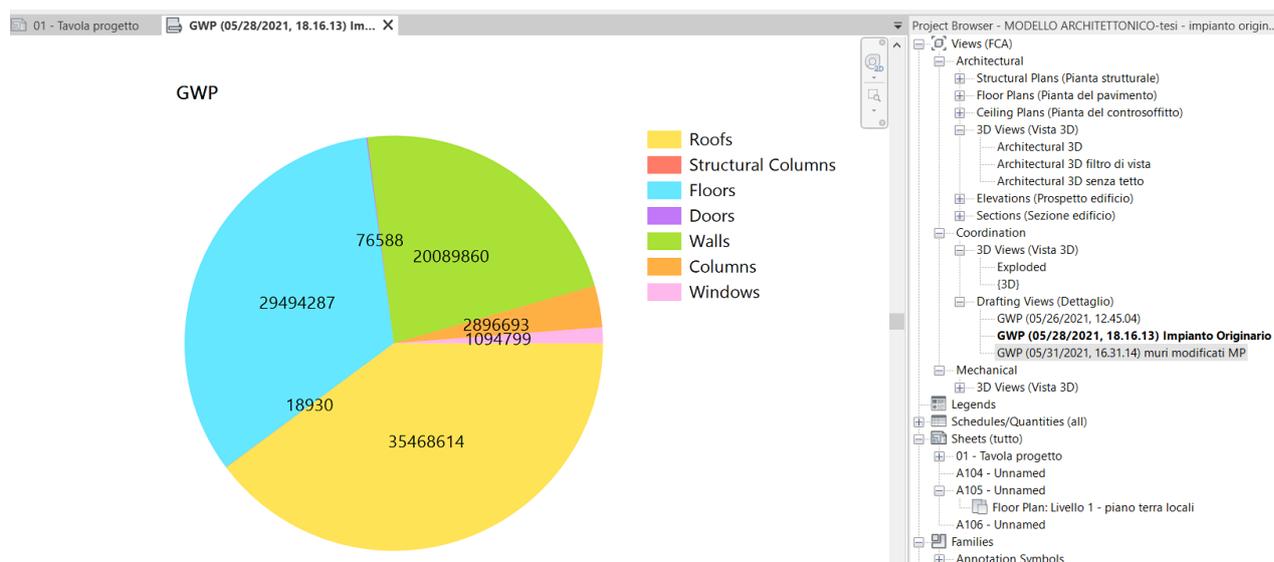


Figura 73: Visualizzazione grafico a torta valori GWP su vista di Dettaglio nel modello Revit

5.5 Proposte di modifiche impianto per l'abbassamento del valore del parametro GWP: Roof-Tetto

Una volta ottenuto il grafico a torta con i valori totali di GWP delle 7 Categorie il passaggio successivo è stato quello di utilizzarlo per ipotizzare delle possibili modifiche agli elementi costruttivi che compongono l'impianto, con lo scopo di abbassare il valore del parametro e quindi l'impatto ambientale dell'intero edificio. Le tre categorie che hanno un impatto totale maggiore sono: *Walls*-Muri, *Roofs*-Tetto, *Floors*-Pavimenti. Sebbene queste proposte di modifiche future siano solamente delle ipotesi, frutto di un esercizio di studio, l'ultima Categoria è stata scartata subito poiché l'idea di smantellare e cambiare tutti i pavimenti non sembrava comunque fattibile a livello logistico. Si è passati così prima alle proposte per le modifiche del tetto e poi quelle ai muri.

Per quanto riguarda il primo, l'ipotesi di modifica della stratigrafia risulta facilmente formulabile poiché è presente una sola famiglia e questa è composta da quattro Tipi (figura 74), ma di questi quattro tre sono i tetti dei lucernai, i quali non possono essere modificati poiché il loro scopo è quello di illuminare un edificio di novantaseimila metri quadrati che altrimenti avrebbe delle zone interne completamente al buio, perciò il Tipo da modifica è solo quello di *Tetto Generico - 400 mm 2*. Il primo tentativo di modifica è stato quello di utilizzare, come materiale principale, il legno visto che è quello con il valore di GWP più basso in assoluto (come si può vedere dalla scala di colori nella figura 77). Durante la sua crescita il legno assorbe anidride carbonica attraverso la fotosintesi,

questo fa sì che quando si calcola la sua quantità di CO₂ totale emessa questa risulta negativa poiché bilanciata da quella assorbita. È quindi come se questa sua azione durante l'esistenza in natura "annullasse" l'effetto negativo del suo utilizzo come prodotto edilizio, per questo dal conteggio finale il valore di GWP diventa negativo.

Per cambiare il materiale è bastato andare nella scheda del Tipo "Tetto generico- 400 mm 2" su Revit, cliccare il tasto per modificarla *Edit Type*, cliccare nuovamente sul tasto *Structure-Edit* e modificare gli elementi della stratigrafia cliccando sui materiali nella lista "Material". Importante mantenere lo spessore originale del tetto, nella figura 75 si vede nel dettaglio i cambiamenti e le scelte effettuate.

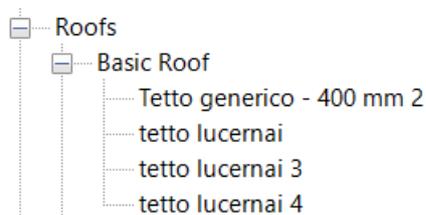


Figura 74: Elenco Categoria, Famiglia e Tipi del Tetto da Revit

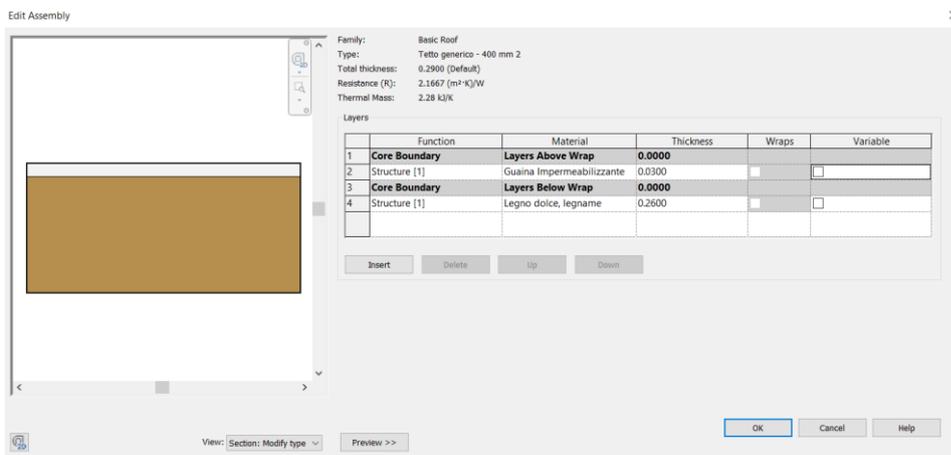
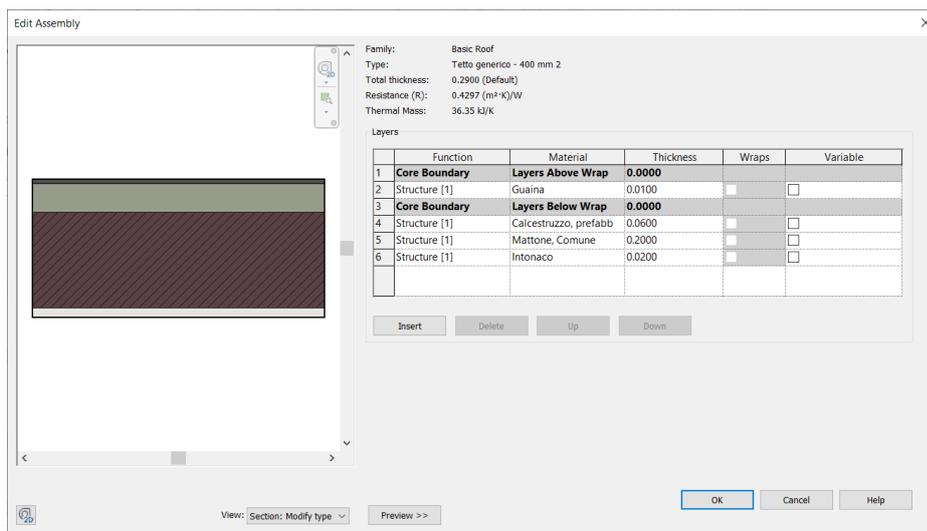
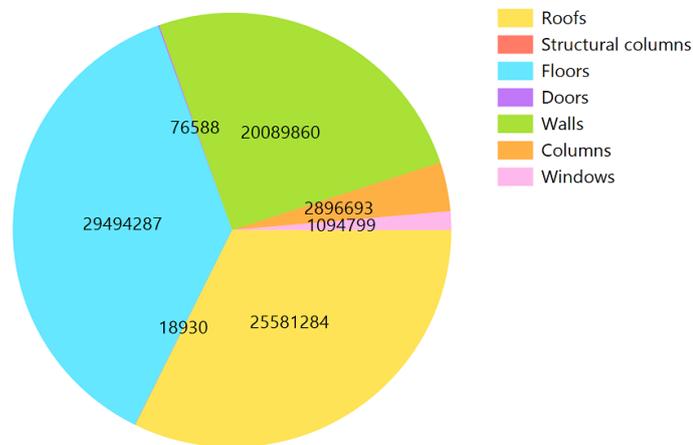


Figura 75: Modifica stratigrafia muro, in alto lo stato di fatto e in basso la modifica con il tetto in legno

Una volta completata la modifica alla stratigrafia del tetto è stata fatta l'analisi LCA tramite il plugin Tally, come descritto nei paragrafi precedenti, e i risultati ottenuti sono stati caricati su Dynamo il quale, utilizzando lo script descritto nel capitolo precedente, ha permesso di compilare automaticamente i valori nuovi di GWP sul nuovo Tipo del tetto e ha restituito il grafico della figura 76. Per avere un'immagine più veloce e intuitiva della diminuzione del parametro GWP e dell'impatto ambientale dell'edificio è stata utilizzata la tematizzazione con la scala di colori utilizzata precedentemente nella figura 64, con l'aggiunta di una range inferiore allo 0. È interessante paragonare le figure 65 e 77: con la modifica della stratigrafia il valore di GWP nella Categoria tetto è diminuito di quasi 10 milioni di kg diCO₂ eq., una quantità esorbitante.

GWP Tetto modificato



. Figura 76: Grafico a torta valori GWP dopo modifica tetto in legno

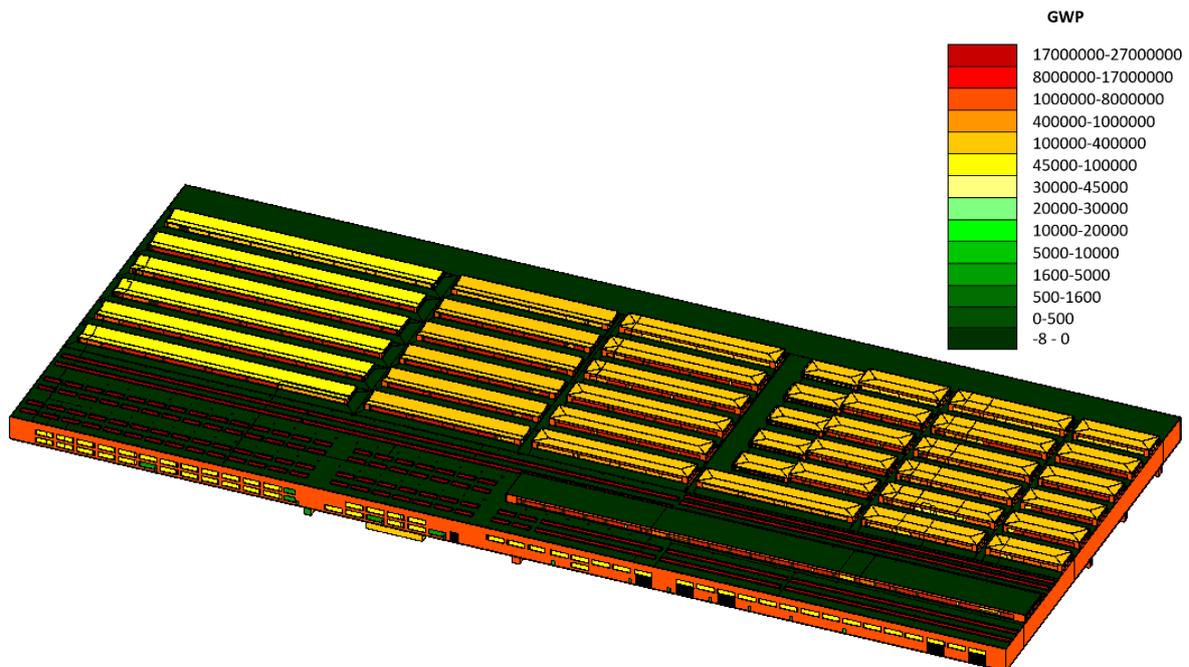


Figura 77: Impianto di lastratura con tematizzazione dopo modifica tetto in legno

La modifica della stratigrafia appena descritta, tuttavia, è sembrata poco consona alla destinazione finale d'uso, stiamo parlando di uno stabilimento di 96000 m² dove si producono automobili, un tetto in legno non è la scelta migliore. Perciò la seconda opzione è stata quella di modificare la stratigrafia del tetto facendolo diventare un tetto verde non estensivo. Questa opzione, purtroppo, non è stato possibile attuarla poiché il plugin Tally non presentava il materiale "Terra" nel database dei materiali disponibili da associare (esempio perfetto di uno degli svantaggi del plugin, analizzati nel capitolo 2).

L'ultima opzione per la modifica del tetto (Figura 78) è stata quella di eliminare dalla stratigrafia i sei centimetri di calcestruzzo sotto la guaina esterna e sostituirli con uno strato di isolante di lana di vetro, presente nel database di Tally, con all'intero un contenuto di vetro post-consumo molto elevato e una resina termoindurente a base biologica (Figura 79).

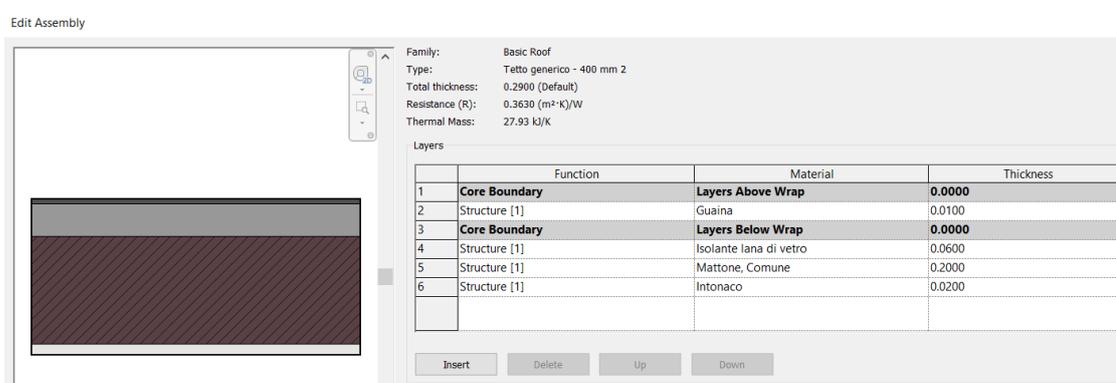


Figura 78: Stratigrafia tetto con isolante di lana di vetro

Fatta l'analisi LCA e caricati i nuovi valori su Dynamo questo restituisce il grafico riportato in figura 80 e il nuovo valore di GWP del tipo "Tetto generico- 400 mm 2" su Parametro Condiviso. Questo ci permette, ancora una volta, di effettuare la tematizzazione a colori dell'impianto e di avere un riscontro grafico del miglioramento: si passa da un arancione scuro ad un arancione chiaro (Figura 81). Dal grafico a torta si può notare come il valore totale di GWP del tetto sia sceso di 2 milioni di kg di CO₂ eq., un risultato positivo ma non ancora soddisfacente. Per questo motivo è stato deciso di integrare la modifica, della stratigrafia del tetto, appena descritta con una modifica su un'altra Categoria.

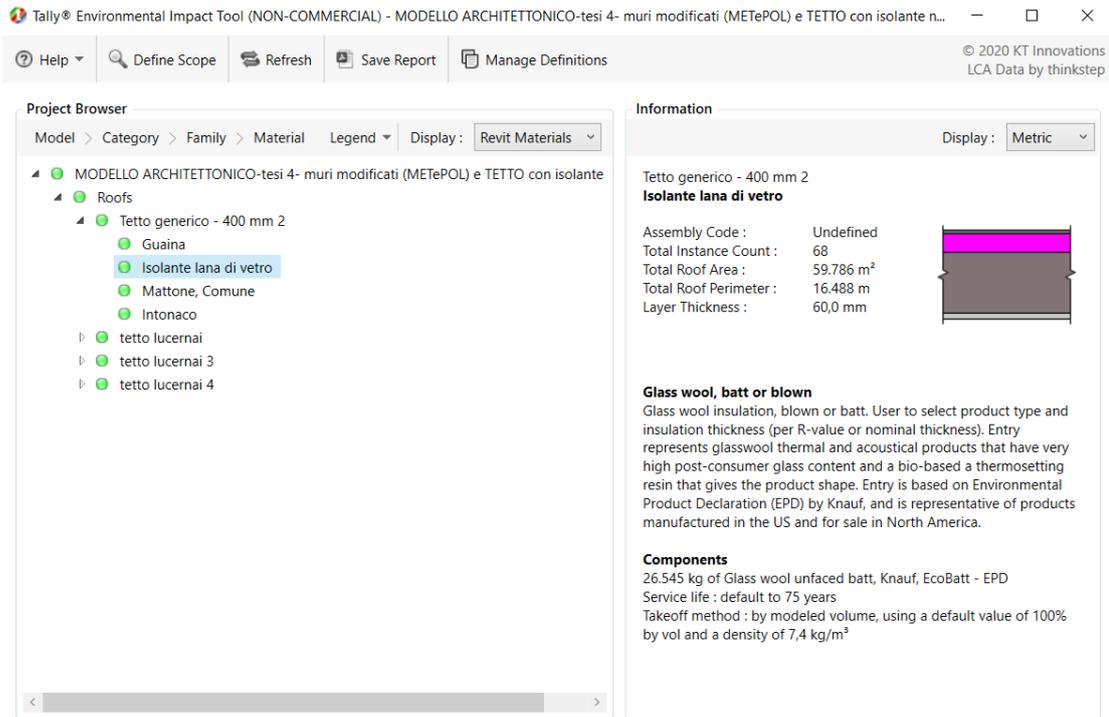


Figura 79: Assegnazione materiale isolante lana di vetro su Tally

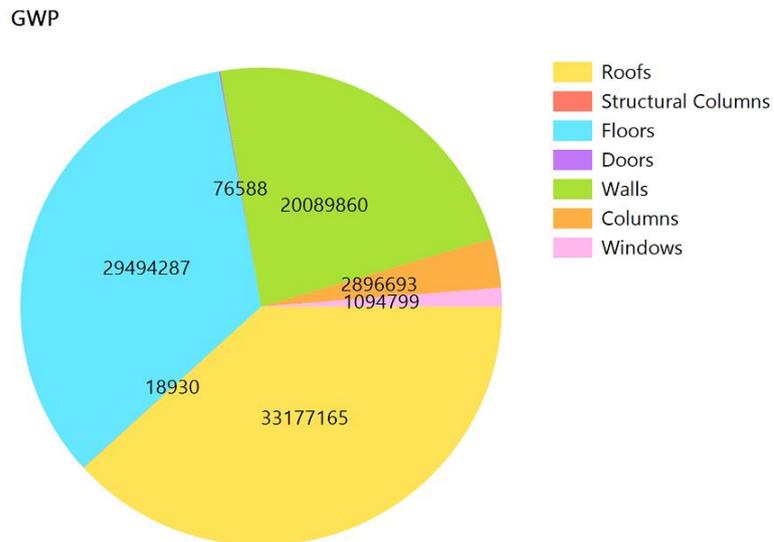


Figura 80: Grafico a torta valori GWP dopo modifica tetto con isolante di lana di vetro

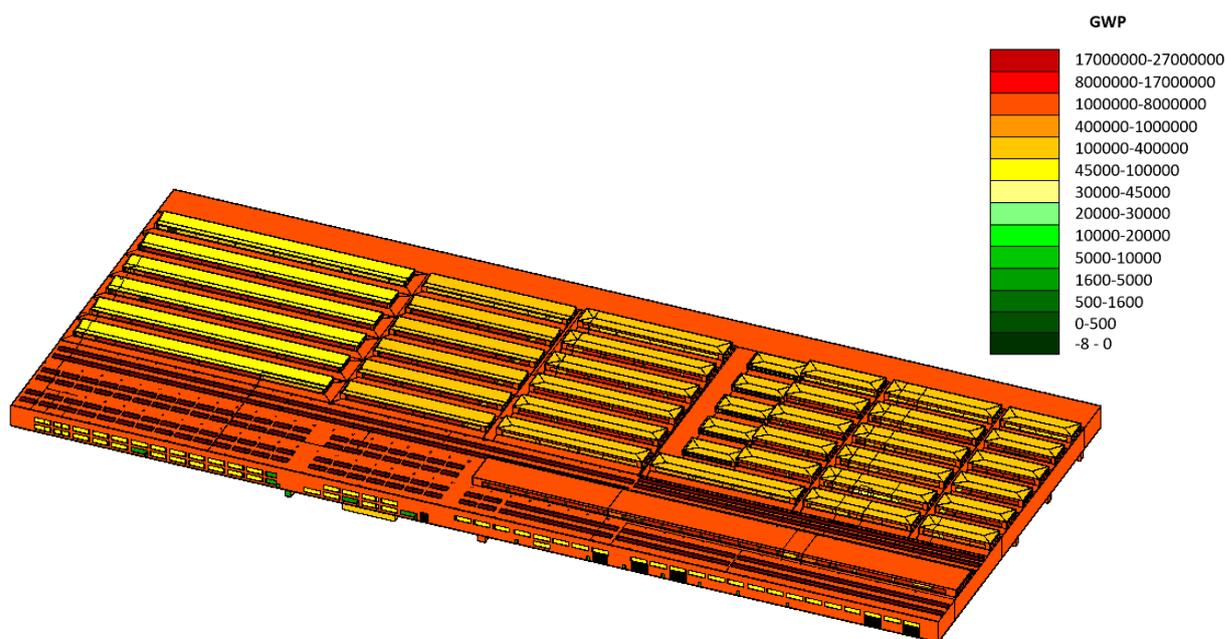


Figura 81: Impianto di lastratura con tematizzazione dopo modifica tetto con isolante in lana di vetro

5.6 Proposte di modifiche impianto per l'abbassamento del valore del parametro GWP: Walls-Muri

La terza Categoria con un valore di GWP più alto è quella dei *Walls*-Muri. La Categoria dei muri comprende 22 Tipi e 892 Istanze: al contrario del Tetto, la Categoria dei muri è senza dubbio più complessa da modificare. Per questo motivo il primo passaggio effettuato è stato quello di raccogliere i dati ottenuti dall'analisi LCA dell'impianto originale per effettuare poi uno studio sulla condizione dei muri, sul loro impatto e sulla fattibilità della loro modifica.

Per prima cosa è stata rifatta l'analisi LCA, su Tally, per la sola parte dei muri. Successivamente sono stati estratti i grafici dei valori di GWP e la loro ripartizione per gruppo di materiali sul report in pdf (figura 82). Poi è stata analizzata la tabella con la ripartizione di GWP per materiali (Tabella 6) e quella per Tipi (Tabella 7), presenti nel report in formato Excel di Tally.

Queste tabelle sono state copiate in un file Excel a parte e inserite in un foglio creato appositamente per studiare i dati sui muri.

Per capire dove andare ad intervenire, inizialmente, sono state evidenziate cinque delle voci con valore di GWP più alto, sia sulla tabella dei materiali che su quella dei tipi, e si è notato che, per quanto riguarda la prima, i valori più alti erano distribuiti sui gruppi di materiali *Concrete*, *Metal* e *Composites* (Calcestruzzo, metallo e composito). Ritornando sulla figura 82 si può notare come, giustamente, i gruppi di materiali più impattanti siano gli stessi citati sopra ma il calcestruzzo,

materiale con il quale la maggior parte dell'edificio è stato costruito, è al terzo posto per impatto, non al primo. Perciò è stato aperto il file Revit con il modello originale e sono stati effettuati il Quantity e il Material take off attraverso i comandi *Analyze* e *Schedule/Quantities*.

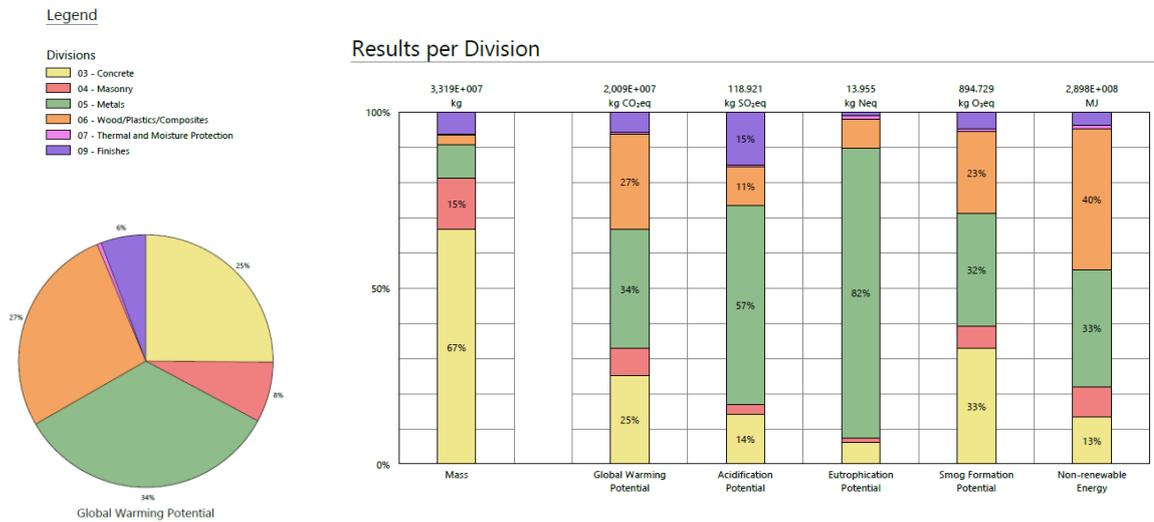


Figura 82: Grafici valori di GWP, e altre categorie d'impatto, per gruppi di materiali da report in pdf di Tally

MATERIALE	GWP
03 - Concrete	5046617,67550
Lightweight concrete, 3000 psi, 0% fly ash and slag	2255873,72493
Steel, reinforcing rod	52339,23820
Structural concrete, 2500 psi, 0% fly ash and slag	2738404,71236
04 - Masonry	1551336,03406
Brick, generic	1551336,03406
05 - Metals	6798003,71683
Aluminum, formed	3262991,00646
Stainless steel sheet, Chromium 18/8	3535012,71038
06 - Wood/Plastics/Composites	5437387,56429
Polycarbonate, cellular, sheet good	5437387,56429
07 - Thermal and Moisture Protection	107046,83270
Cellulose insulation, boards	11479,73605
Fluid applied synthetic polymer air barrier	95567,09666
09 - Finishes	1149467,26779
Nylon carpet tiles, Mohawk, EcoFlex ICT - EPD	110711,23573
Paint, interior acrylic latex	55333,88494
Stucco, portland cement	888710,76285
Wall board, gypsum, natural	94711,38427
Totale complessivo	20089859,09117

Tabella 6: Valori di GWP per materiali- da report su Excel di Tally

TIPI	GWP
Generico - 150 mm 2	398713,47864
Generico - Muratura 150 mm	1703117,66890
Generico - Muratura 150 mm 2	552756,05603
Interno - Parete 100 mm 2	50293,97927
Interno - Parete 120 mm 2	5292,57362
Interno - Parete 120 mm 3	31022,35697
Interno - Parete 138 mm (1-hr)	3407743,70204
Interno - Parete 200 mm 2	666067,00516
Interno - Parete 300 mm	1718,63276
Interno - Parete 350 mm	428148,75220
Interno - Parete 400 mm	1747164,24728
Interno - Parete 500 mm	176805,26724
Interno - Parete 80 mm	2386,87514
muretto tetto	332,03729
Muro prefabbricato 0,4 m	1823705,21218
parete interna (lamiera 150 mm)	2745490,07607
parete interna (lamiera 50 mm)	789522,63431
parete interna (telone 1.5 mm)	110711,23573
parete interna policarb (15 mm)	2701,85795
parete interna policarb (180 mm)	4241564,66892
parete interna policarb (40 mm)	103552,42925
parete interna policarb (80 mm)	1101048,34421

Tabella 7: Valori di GWP per Tipi - da report su Excel di Tally

Il programma ha elaborato una scheda per ciascuna “richiesta” con le voci di tutte le istanze, come nelle figure 83 e 84. I dati sono stati esportati tramite i comandi *File, Export, Reports, Schedule* in un documento di testo. Successivamente questi sono stati selezionati, copiati sul file Excel per lo studio dei muri e, dopo un lavoro di calcolo e organizzazione, sono state ottenute le tabelle 8 e 9.

<Wall Material Takeoff>

A	B	C
Count	Material: Name	Type
1	Brick, Norman	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Air	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Plaster	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Brick, Norman	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Air	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Plaster	Muro prefabbricato 0,4 m
1	Calcestruzzo	Generico - 150 mm 2
1	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm
1	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm
1	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm
1	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm
1	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm

Figura 83: Estratto foglio di Revit sul Wall material take off

<Wall Schedule>

A	B	C	D
Area	Family and Type	Structural Material	Count
5712.417 m ²	Basic Wall: Muro prefabbricato 0,4 m		1
5674.319 m ²	Basic Wall: Generico - 150 mm 2	Calcestruzzo	1
4023.097 m ²	Basic Wall: Muro prefabbricato 0,4 m		1
2122.745 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 138 mm (1-hr)	Strato montante in metallo	1
1278.001 m ²	Basic Wall: parete interna policarb (180 mm)	Isolamento semirigido	1
1098.322 m ²	Basic Wall: Muro prefabbricato 0,4 m		1
1085.518 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 200 mm 2	Unità di muratura in calcestruzzo	1
1063.111 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 200 mm 2	Unità di muratura in calcestruzzo	1
894.230 m ²	Basic Wall: Generico - Muratura 150 mm 2	Calcestruzzo - Leggero	1
894.230 m ²	Basic Wall: Generico - Muratura 150 mm 2	Calcestruzzo - Leggero	1
818.012 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 138 mm (1-hr)	Strato montante in metallo	1
817.748 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 200 mm 2	Unità di muratura in calcestruzzo	1
812.788 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 400 mm	Unità di muratura in calcestruzzo	1
808.457 m ²	Basic Wall: Interno - Parete 200 mm 2	Unità di muratura in calcestruzzo	1
757.450 m ²	Basic Wall: Generico - Muratura 150 mm 2	Calcestruzzo - Leggero	1

Figura 84: Estratto foglio di Revit sul Wall Quantity take off

QUANTITA'	AREA	TIPI
16	4254,71 m ²	Parete interna policarb (180 mm)
10	1106,14 m ²	Parete interna policarb (80 mm)
28	259,92 m ²	Parete interna policarb (40 mm)
8	13,57 m ²	Parete interna policarb (15 mm)
5	1471,96 m ²	Parete interna (telone 1.5 mm)
2	667,53 m ²	Parete interna (lamiera 150 mm)
4	575,89 m ²	Parete interna (lamiera 50 mm)
5	11604,70 m ²	Muro prefabbricato 0,4 m
1	5,61 m ²	Muretto tetto
4	860,30 m ²	Interno - Parete 500 mm
101	10600,35 m ²	Interno - Parete 400 mm
52	2882,31 m ²	Interno - Parete 350 mm
2	13,41 m ²	Interno - Parete 300 mm
18	7612,11 m ²	Interno - Parete 200 mm 2
6	4142,65 m ²	Interno - Parete 138 mm (1-hr)
10	466,39 m ²	Interno - Parete 120 mm 2
11	840,64 m ²	Interno - Parete 100 mm 2
24	43,44 m ²	Interno - Parete 80 mm
12	4465,13 m ²	Generico - Muratura 150 mm 2
572	13757,69 m ²	Generico - Muratura 150 mm
1	5674,32 m ²	Generico - 150 mm 2

Tabella 8: Quantity take off da Revit Categoria muri

Count	Material: Name	Type
5	Brick, Norman	Muro prefabbricato 0,4 m
	Air	
	Plaster	
1	Calcestruzzo	Generico - 150 mm 2
6	Strato montante in metallo	Interno - Parete 138 mm (1-hr)
	Pannello in gesso	
572	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm
4	Acciaio inossidabile	parete interna (lamiera 50 mm)
16	Isolamento semirigido	parete interna policarb (180 mm)
	Policarbonato	
8	Isolamento semirigido	parete interna policarb (80 mm)
	Policarbonato	
1	Mattone, Comune	muretto tetto
27	Isolamento semirigido	parete interna policarb (40 mm)
	Policarbonato	
8	Isolamento semirigido	parete interna policarb (15 mm)
	Policarbonato	
2	Acciaio inossidabile	parete interna (lamiera 150 mm)
5	Nylon 6	parete interna (telone 1.5 mm)
12	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm 2
10	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 120 mm 3
	Intonaco	
11	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 100 mm 2
	Intonaco	
24	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 80 mm
	Intonaco	
18	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 200 mm 2
	Intonaco	
52	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 350 mm
	Intonaco	
2	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 300 mm
	Intonaco	
101	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 400 mm
	Intonaco	
4	Unità di muratura in calcestruzzo	Interno - Parete 500 mm
	Intonaco	

Tabella 9: Material take off da Revit Categoria muri

Una volta organizzate tutte le tabelle è stato deciso di realizzarne una finale riassuntiva dove sono stati divisi i Tipi, con le quantità e i materiali di cui sono composti, in macro-gruppi di materiali, seguendo la ripartizione della figura 82: calcestruzzo, metallo, composito e muratura. Inoltre, sono stati aggiunti l'area e la quantità del singolo Tipo e quelle complessive dell'intero macro-gruppo, il valore complessivo del GWP e la sua percentuale rispetto al valore di tutto l'impianto (Tabella 10). È stato così notato come le Categorie del Metallo, del Composito e della Muratura insieme impattassero con il 69% del GWP totale per un'area complessiva di 24102 m², contro il Calcestruzzo che da solo ha un impatto del 25% ma per un'area complessiva di 42216 m².

È stato così semplice comprendere che, sia a livello logico che economico, intervenire su anche solo due Categorie tra Metallo, Composito e Muratura porterebbe a una riduzione del GWP importante, rimanendo comunque su aree inferiori rispetto a quelle del calcestruzzo.

% GWP	GWP	Count		Area [m ²]	Material: Name	Type					
25	5046617,676	807	1	47216,09	5674,32	Calcestruzzo	Generico - 150 mm 2				
			572		13757,69	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm				
			12		4465,13	Calcestruzzo - Leggero	Generico - Muratura 150 mm 2				
			10		466,39	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 120 mm 2				
			11		840,64	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 100 mm 2				
			24		43,44	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 80 mm				
			18		7612,11	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 200 mm 2				
			52		2882,31	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 350 mm				
			2		13,41	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 300 mm				
			101		10600,35	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 400 mm				
			4		860,3	Unità di muratura in calcestruzzo Intonaco	Interno - Parete 500 mm				
			8		1551336,034	1	1	11610,31	5,61	Mattone, Comune	muretto tetto
						5			5	11604,7	Brick, Norman
Air											
Plaster											
34	6798003,717	12	4	5386,07	575,89	Acciaio inossidabile	parete interna (lamiera 50 mm)				
			2		667,53	Acciaio inossidabile	parete interna (lamiera 150 mm)				
			6		4142,65	Strato montante in metallo Pannello in gesso	Interno - Parete 138 mm (1-hr)				
27	5437387,564	67	8	7106,3	13,57	Isolamento semirigido Policarbonato	parete interna policarb (15 mm)				
			28		259,92	Isolamento semirigido Policarbonato	parete interna policarb (40 mm)				
			10		1106,14	Isolamento semirigido Policarbonato	parete interna policarb (80 mm)				
			16		4254,71	Isolamento semirigido Policarbonato	parete interna policarb (180 mm)				
			5		1471,96	Nylon 6	parete interna (telone 1.5 mm)				

Tabella 10: tabella riassuntiva studio impatto muri per Tipo, materiale e quantità

Il passo successivo è stato, quindi, quello di analizzare le stratigrafie dei muri nei diversi macro-gruppi di Metallo, Composito e Muratura:

- Per quanto riguarda la Muratura, i Tipi sono due: *muretto tetto* e *muro prefabbricato*. Il primo ha un'area totale di 5,61 m², quindi poco influente, mentre il secondo ha un'area totale di 11604,7 m² e di conseguenza ha un impatto decisamente maggiore. Le stratigrafie di entrambi si trovano nelle figure 85 e 86.
- Per il macro-gruppo di Metallo, i Tipi sono tre ma possono essere divisi in due gruppi: *parete interna di 50 e 150 mm* e *Interno-Parete 138 mm (1-hr)*. Questi due gruppi di Tipi hanno la percentuale più alta di GWP (34%) e si sviluppano sull'area totale più bassa (5386 m²) rispetto a quella di tutti gli altri macro-gruppi: di sicuro è fondamentale intervenire su quest'ultimo. Le stratigrafie si trovano nelle figure 87, 88 e 89.

- L'ultimo macro-gruppo, quello dei Compositi, è formato da cinque Tipi che possono però essere divisi in due gruppi: *parete interna policarb da 15, 40, 80 e 180 mm* e *parete interna (telone 1.5 mm)*. Questo macro-gruppo ha la seconda percentuale più alta di GWP (27%) su un'area totale di soli 7106,3 m². Le stratigrafie delle pareti interne policarb sono tutte uguali, cambia soltanto lo spessore, quelle di esempio si trovano nelle figure 90 e 91, mentre quella della parete interna con telone si trova nella figura 92.

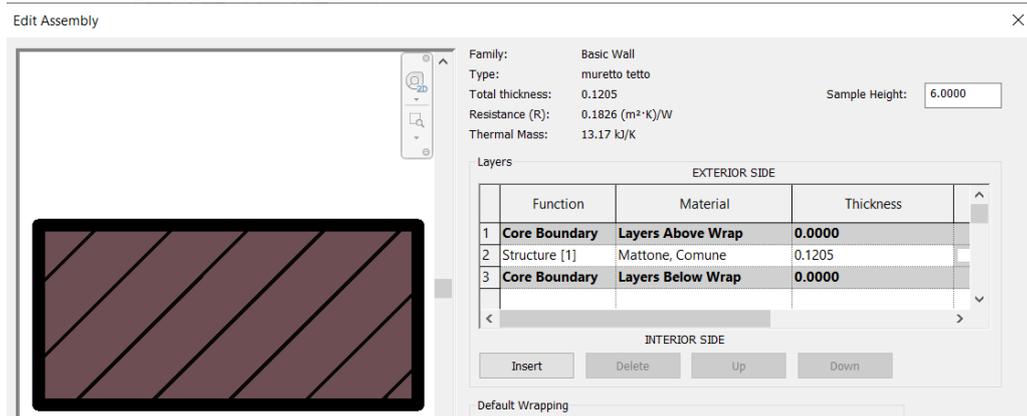


Figura 85: Stratigrafia muretto tetto da Revit

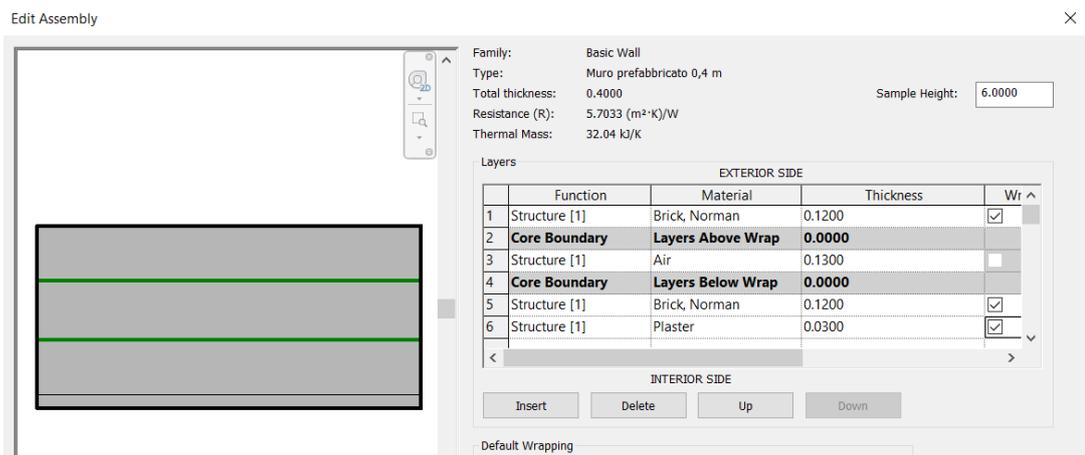


Figura 86: Stratigrafia muro prefabbricato 0,4 m da Revit

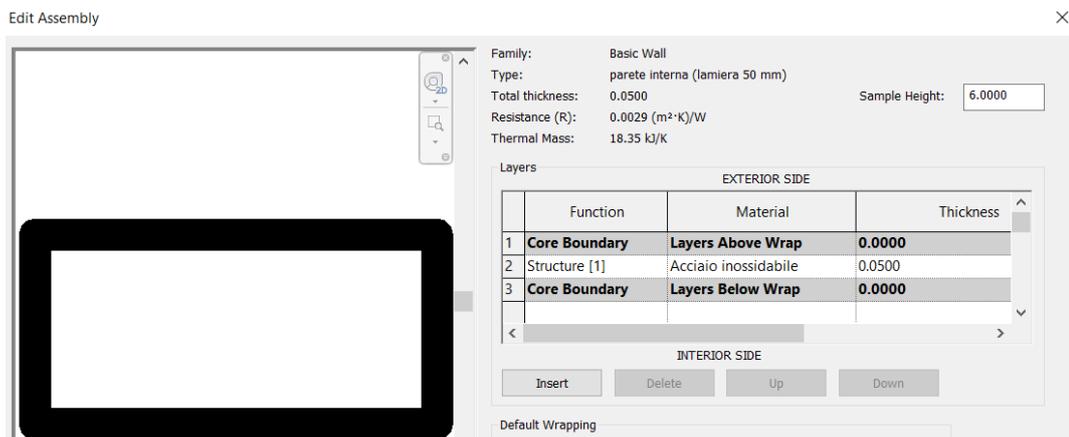


Figura 87: Stratigrafia parete interna (lamiera 50 mm) da Revit

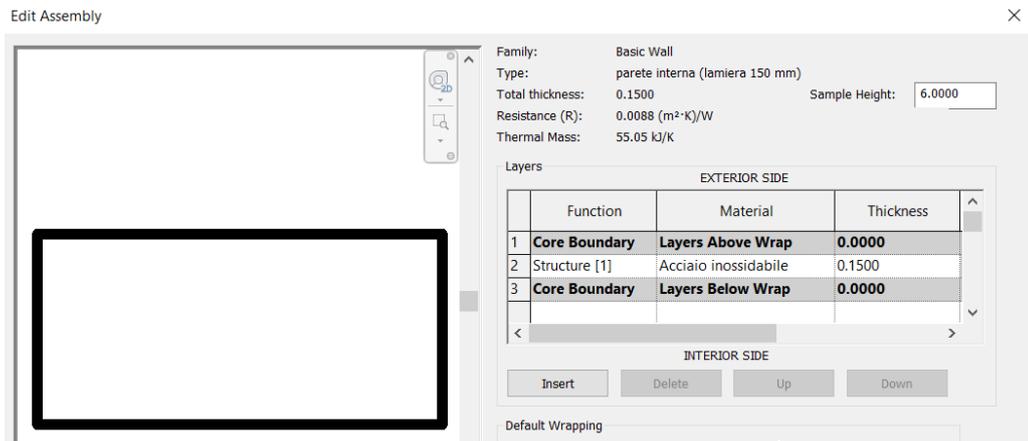


Figura 88: Stratigrafia parete interna (lamiera 150 mm) da Revit

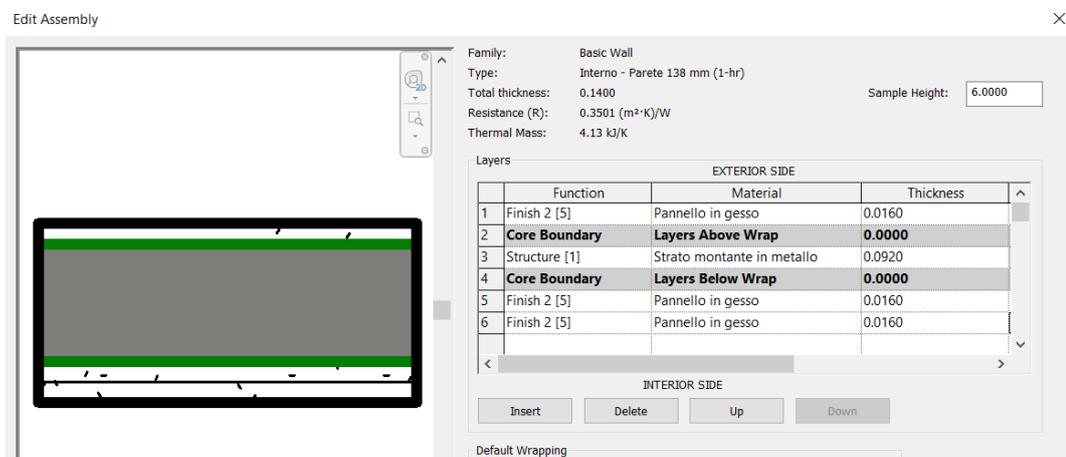


Figura 89: Stratigrafia Interno-Parete 138 mm (1-hr) da Revit

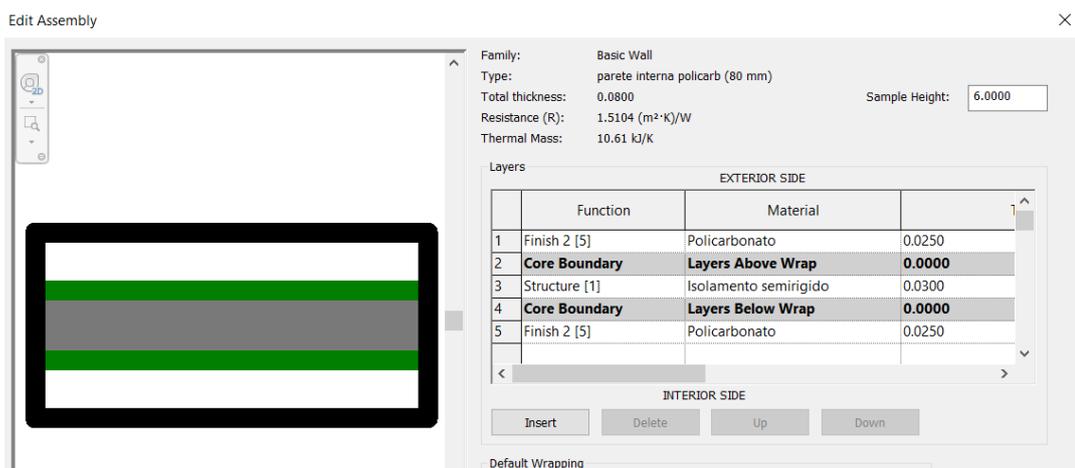


Figura 90: Stratigrafia parete interna policarb (80 mm) da Revit

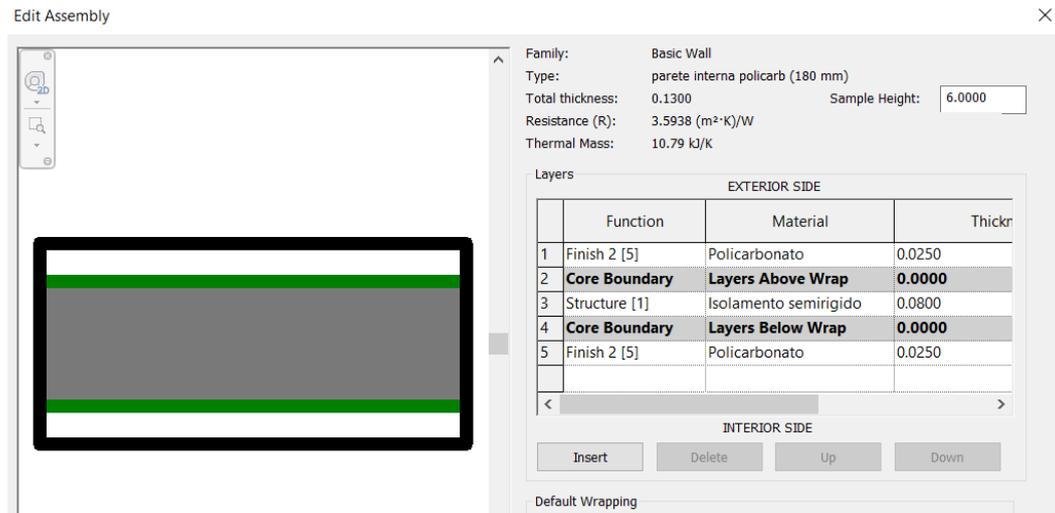


Figura 91: Stratigrafia parete interna policarb (180 mm) da Revit

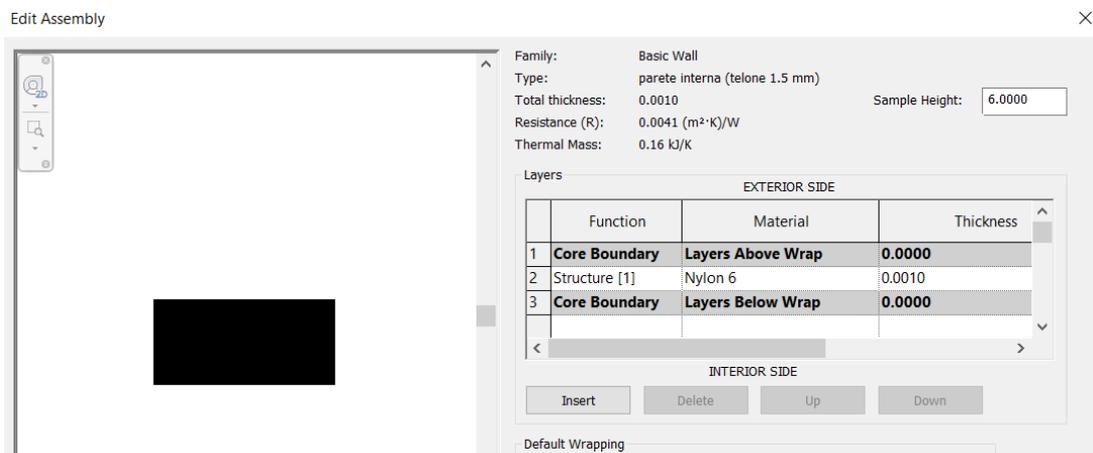


Figura 92: Stratigrafia parete interna (telone 1.5 mm) da Revit

Come si può notare dalle figure sopra riportate, le stratigrafie dei muri sono generalmente molto semplici e quindi, nella maggior parte dei casi, per modificarle è necessario cambiare un solo materiale. Pertanto, stati proposti i seguenti cambiamenti:

- Sostituzione del metallo/acciaio con il calcestruzzo poiché quest'ultimo è meno impattante a livello ambientale e permette di uniformare la composizione materiale dell'impianto;
- al posto del policarbonato è stato proposto il PMMA (Plexiglass) poiché ha proprietà simili al policarbonato ma ha un valore di GWP inferiore. Il PMMA ha resistenza agli urti e durezza inferiore rispetto al policarbonato, tuttavia nell'impianto di lastratura il quest'ultimo è utilizzato principalmente come divisore, per questo il cambio con il PMMA non è problematico a livello di funzionalità dell'impianto;
- la muratura viene sostituita con il calcestruzzo per lo stesso motivo citato nel primo punto.

Per testare quale combinazione, tra le tre modifiche proposte, fosse la migliore, sono state fatte tre copie del modello originale di Revit, e in ognuna di esse sono state modificate le stratigrafie degli elementi che contengono i materiali sotto citati in gruppi:

1. Modifica dei gruppi di elementi in: Muratura + Acciaio/Metallo
2. Modifica dei gruppi di elementi in: Muratura + Composito
3. Modifica dei gruppi di elementi in: Acciaio/Metallo + Composito

Le proposte di modifica delle stratigrafie sono state elaborate su Revit e si trovano nelle figure dalla 93 alla 99. Nel gruppo del Composito non è stato modificato il Tipo *parete interna (telone Nylon 1.5 mm)* poiché il telone di Nylon deve essere flessibile mentre il PMMA è rigido.

Sempre nel gruppo del Composito nelle figure sottostanti sono presenti solo due esempi di modifiche di stratigrafie di *parete interna policarb* perché sono organizzate tutte nello stesso modo, cambia soltanto lo spessore, per questo ne sono state inserite solo due come esempio ma nella realtà sono state modificate tutte e quattro.

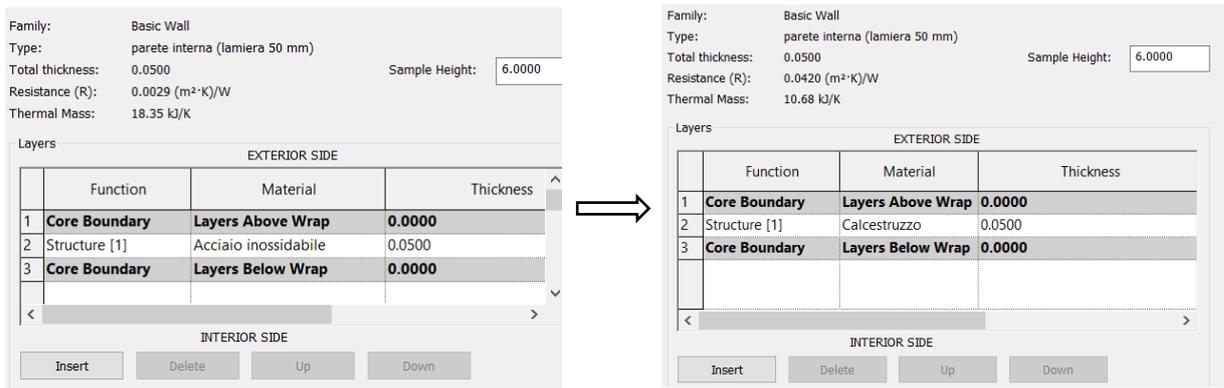


Figura 93: Confronto stratigrafie Parete interna (lamiera 50 mm) prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

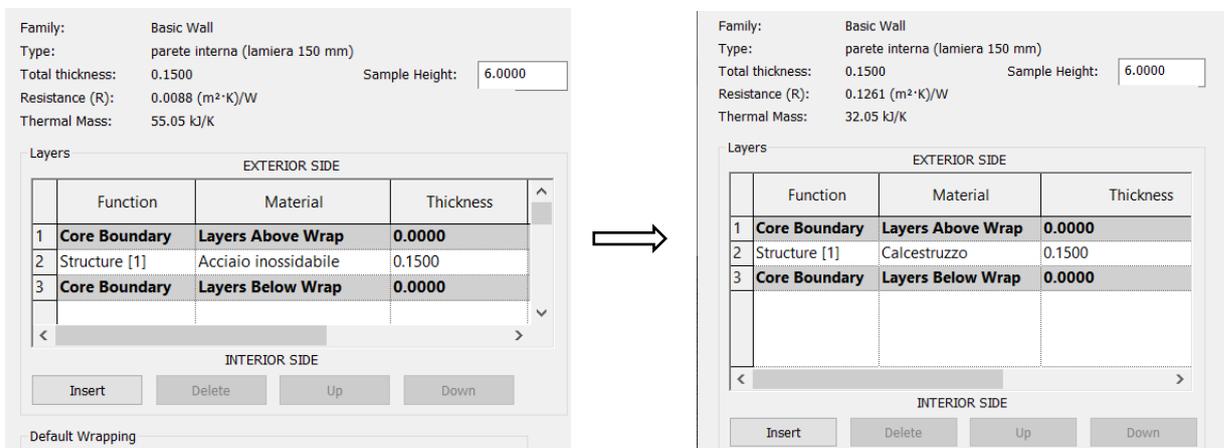


Figura 94: Confronto stratigrafie Parete interna (lamiera 150 mm) prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

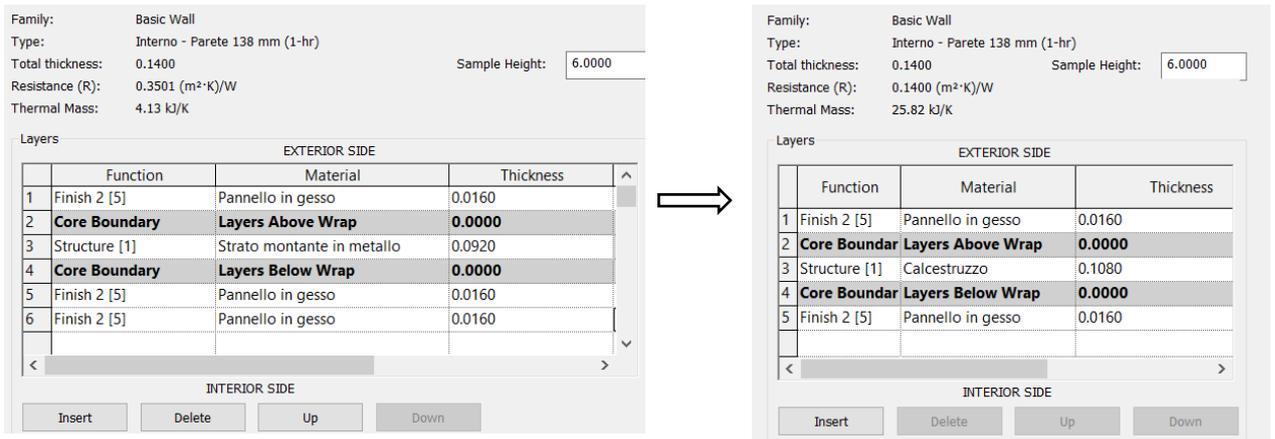


Figura 95: Confronto stratigrafie Parete 138 mm(1-hr) prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

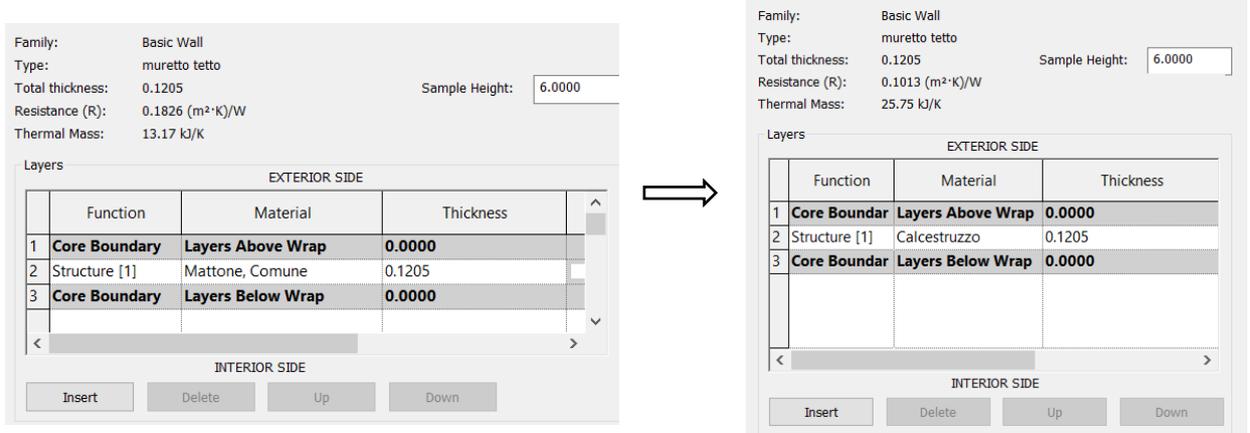


Figura 96: Confronto stratigrafie muretto tetto prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

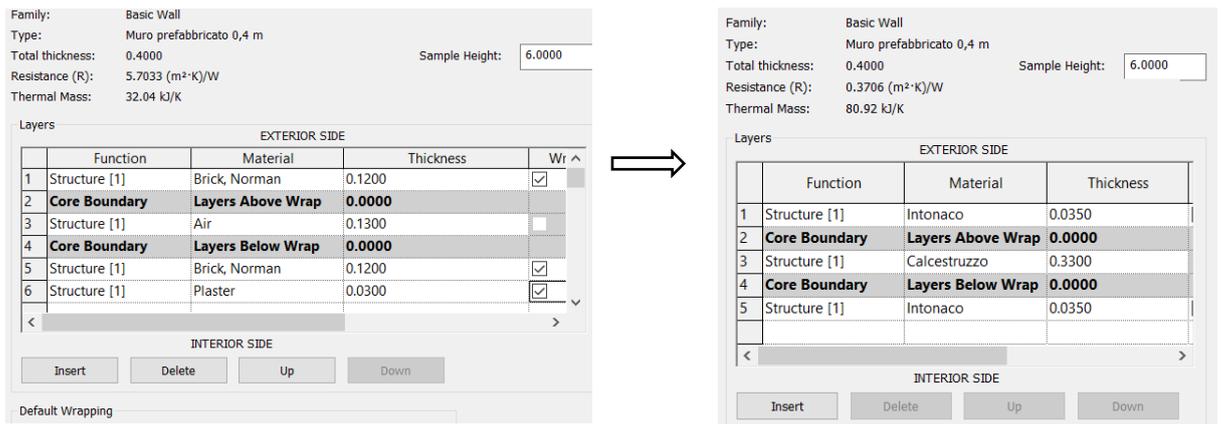


Figura 97: Confronto stratigrafie Muro prefabbricato 0,4 m prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

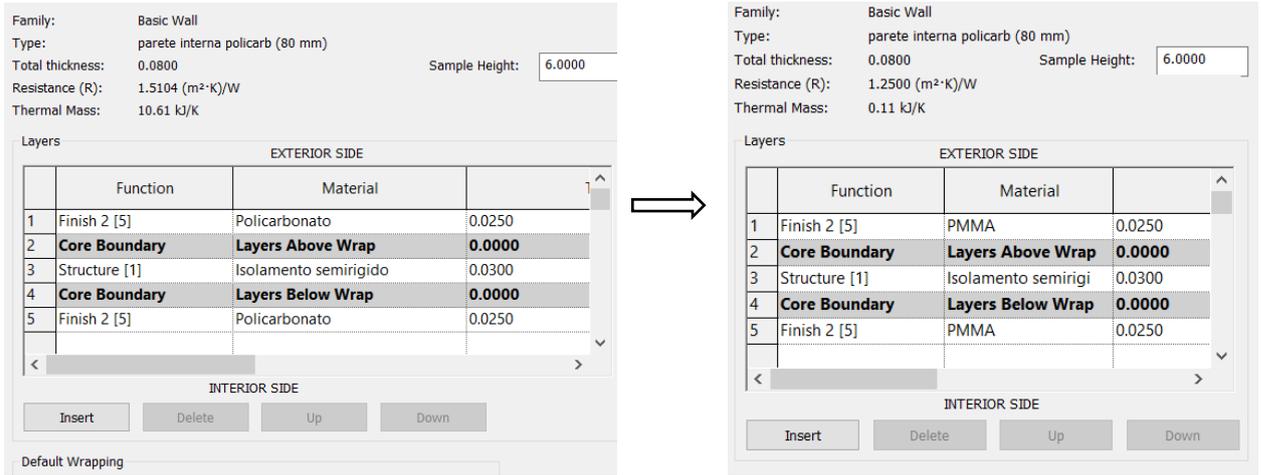


Figura 98: Confronto stratigrafie Parete interna policarb (80 mm) prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

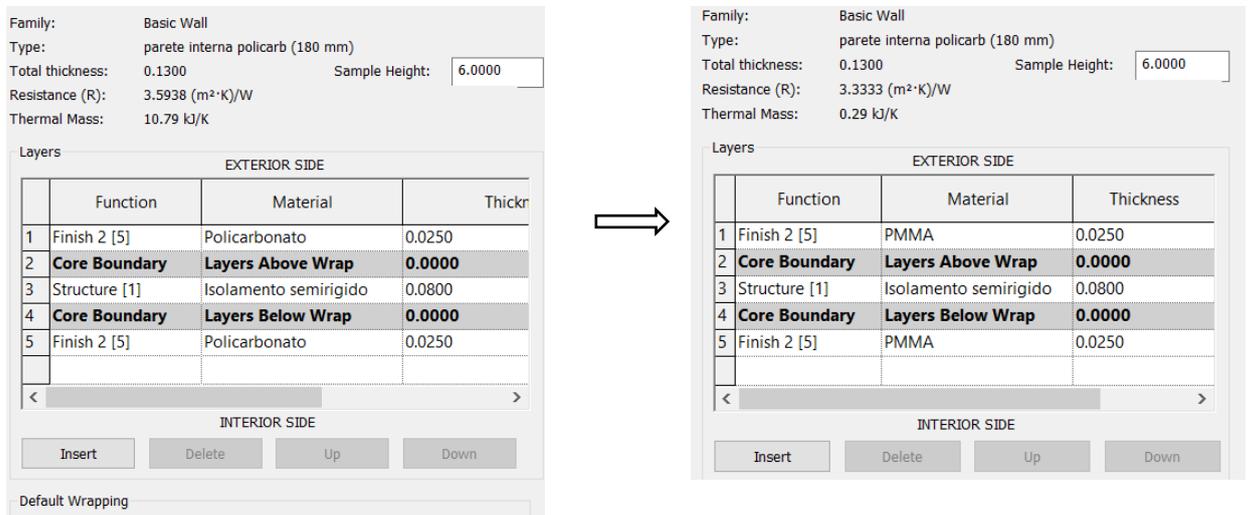


Figura 99: Confronto stratigrafie Parete interna policarb (180 mm) prima (a sinistra) e dopo la modifica (a destra)

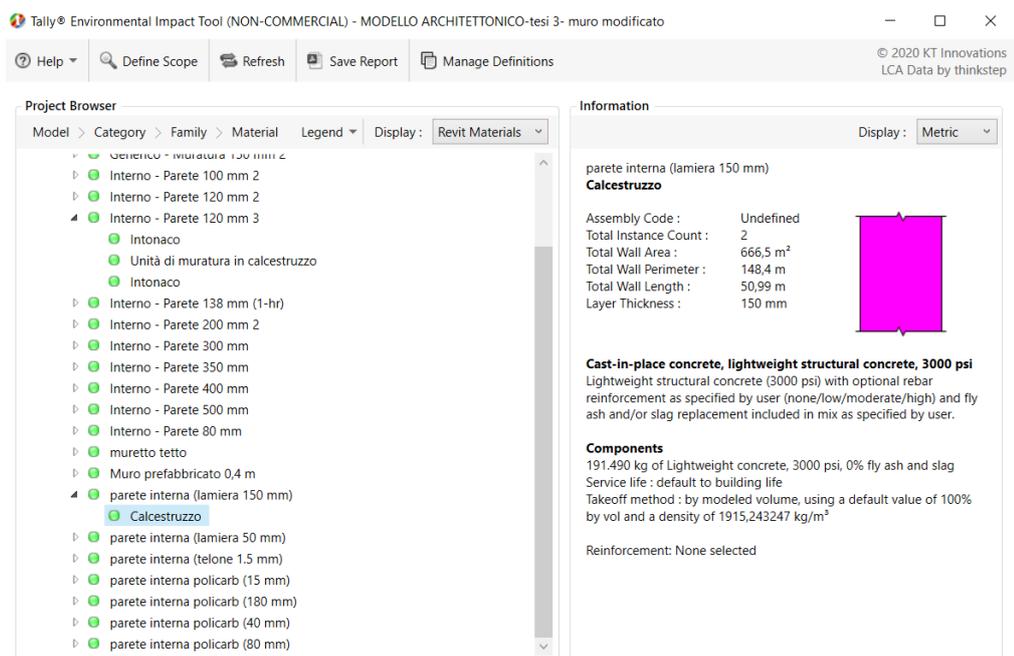


Figura 100: esempio scheda assegnazione materiale calcestruzzo su parete di lamiera-schermata di Tally

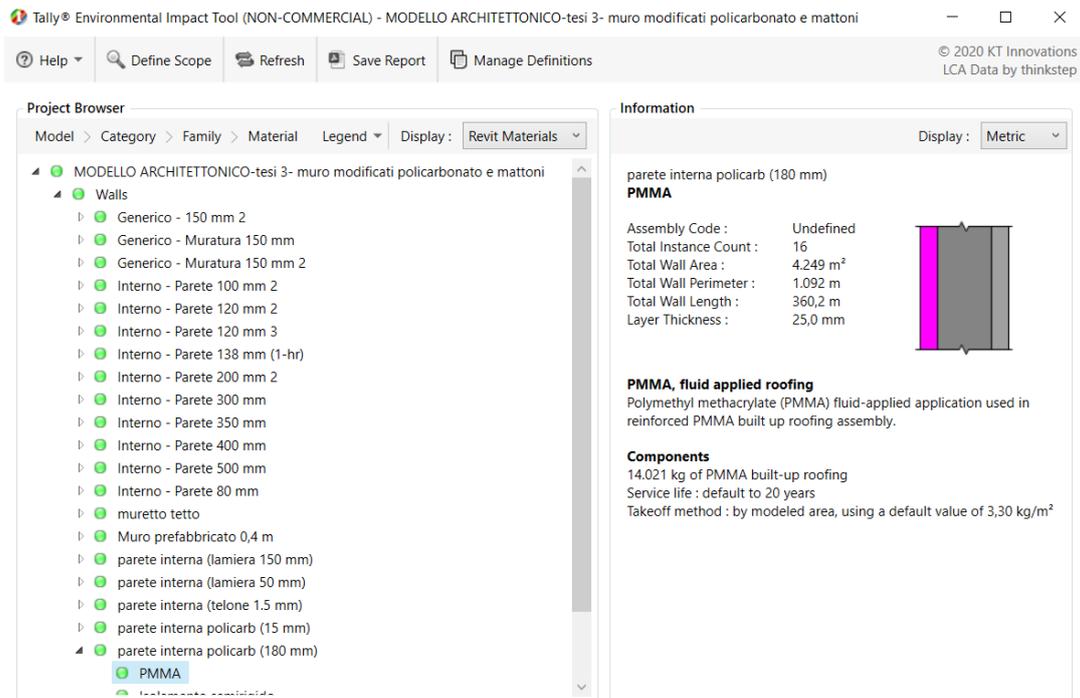


Figura 101: esempio scheda assegnazione materiale PMMA su parete di Policarbonato-schermata di Tally

Sulle copie dei tre modelli originali sono state applicate a gruppi, come indicato nell'elenco a pagina 90, le modifiche alle stratigrafie mostrate nelle figure sopra. Una volta modificate, è stato utilizzato il plugin Tally per associare i nuovi materiali dei Tipi modificati ed è stata eseguita l'analisi LCA che ha restituito i nuovi valori di GWP (Tabelle 11, 12 e 13). Utilizzando sempre lo stesso script su Dynamo, ideato nel capitolo precedente, su Revit sono stati modificati i valori del parametro condiviso GWP con quelli nuovi appena calcolati. Grazie a questi passaggi è stato possibile ottenere il grafico a torta, con la distribuzione del valore di GWP nelle sette Categorie dell'impianto, e la tematizzazione a colori del modello di Revit. Una volta completati questi passaggi per tutti e tre i gruppi di modifiche, questi sono stati messi a confronto per decidere quale dei tre fosse il migliore:

1. Modifica dei gruppi di **Muratura + Acciaio/Metallo**: questa modifica ha restituito la tabella 11 con i nuovi valori di GWP e il grafico a torta con il nuovo valore totale nella Categoria Walls-Muri. (Figura 102)

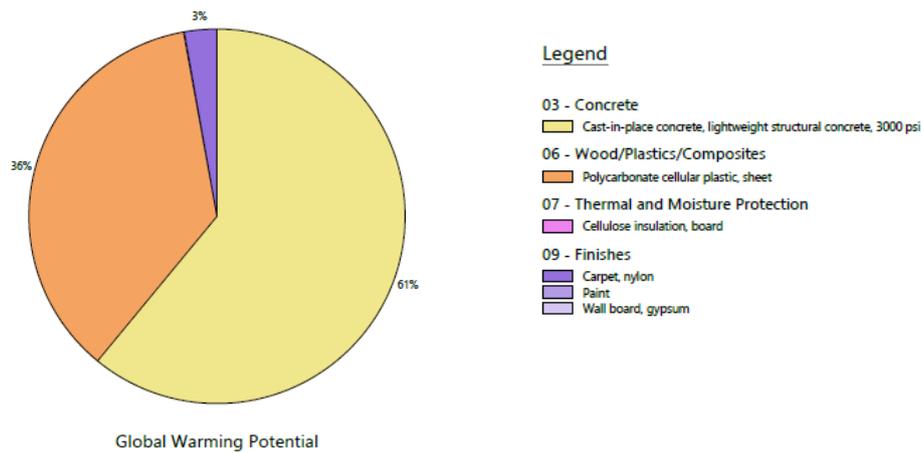


Figura 102: Grafico a torta della nuova distribuzione di GWP da Report in pdf di Tally - Modifica muratura + acciaio/metallo

MATERIALE	GWP
03 - Concrete	9148452,28471
Lightweight concrete, 3000 psi, 0% fly ash and slag	9148452,28471
06 - Wood/Plastics/Composites	5431418,54789
Polycarbonate, cellular, sheet good	5431418,54789
07 - Thermal and Moisture Protection	11465,18532
Cellulose insulation, boards	11465,18532
09 - Finishes	418305,31961
Nylon carpet tiles, Mohawk, EcoFlex ICT - EPD	110718,21554
Paint, exterior acrylic latex	207519,54347
Paint, interior acrylic latex	36910,02634
Wall board, gypsum, natural	63157,53425
Totale complessivo	15009641,33753

Tabella 11: Valori di GWP divisi per gruppi di materiali da Report in Excel di Tally – Modifica Muratura + acciaio/metallo

- Modifica dei gruppi di: Muratura + Composito:** questa modifica ha restituito la tabella 12 con i nuovi valori di GWP e il grafico a torta con il nuovo valore totale nella Categoria Walls-Muri. (Figura 103)

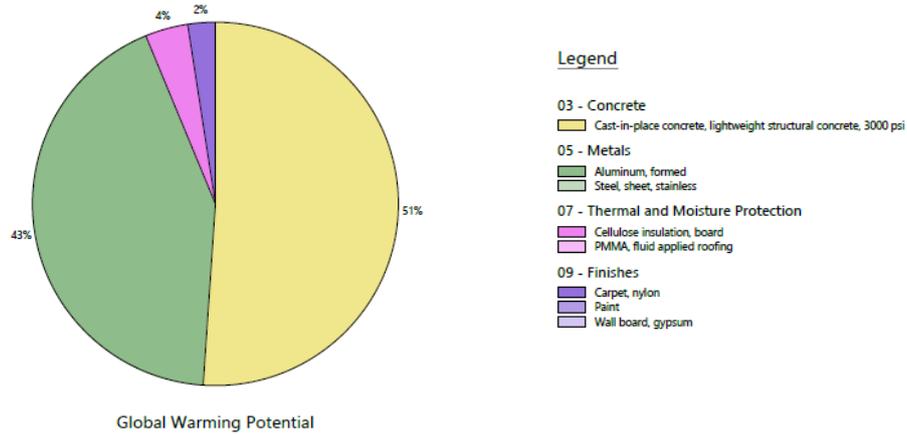


Figura 103: Grafico a torta della nuova distribuzione di GWP da Report in pdf di Tally - Modifica muratura + composito

MATERIALE	GWP
03 - Concrete	8791878,86398
Lightweight concrete, 3000 psi, 0% fly ash and slag	8791878,86398
05 - Metals	7354518,55693
Aluminum, formed	3823561,15049
Stainless steel sheet, Chromium 18/8	3530957,40644
07 - Thermal and Moisture Protection	651686,35250
Cellulose insulation, boards	11465,18532
PMMA built-up roofing	640221,16718
09 - Finishes	418305,31961
Nylon carpet tiles, Mohawk, EcoFlex ICT - EPD	110718,21554
Paint, exterior acrylic latex	207519,54347
Paint, interior acrylic latex	36910,02634
Wall board, gypsum, natural	63157,53425
Totale complessivo	17216389,09302

Tabella 12: Valori di GWP divisi per gruppi di materiali da Report in Excel di Tally - Modifica muratura + composito

1. **Modifica dei gruppi di: Acciaio/Metallo + Composito:** questa modifica ha restituito la tabella 13 con i nuovi valori di GWP e il grafico a torta con il nuovo valore totale nella Categoria Walls-Muri. (Figura 104)

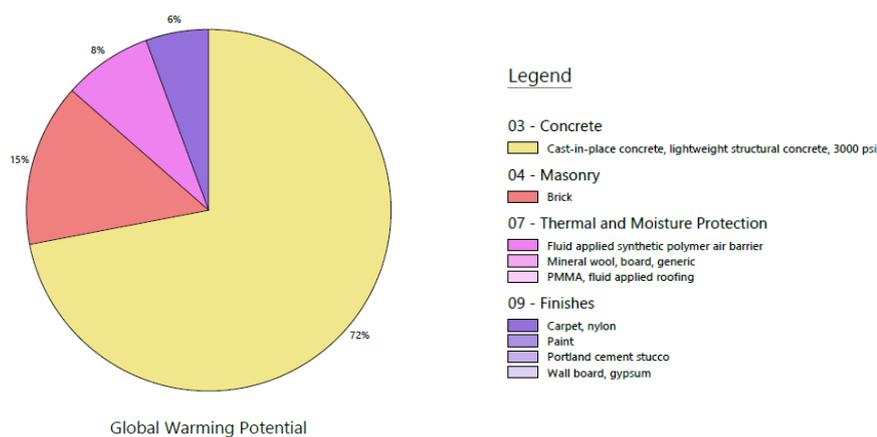


Figura 104: Grafico a torta della nuova distribuzione di GWP da Report in pdf di Tally – Modifica acciaio/metallo + composito

MATERIALE	GWP
03 - Concrete	6778080,36171
Lightweight concrete, 3000 psi, 0% fly ash and slag	6778080,36171
04 - Masonry	1369001,65627
Brick, generic	1369001,65627
07 - Thermal and Moisture Protection	744756,91286
Fluid applied synthetic polymer air barrier	95567,88065
Mineral wool, Knauf, ECOSE - EPD	8285,12805
PMMA built-up roofing	640903,90417
09 - Finishes	526494,34270
Nylon carpet tiles, Mohawk, EcoFlex ICT - EPD	110718,21554
Paint, exterior acrylic latex	138549,21539
Paint, interior acrylic latex	36918,79238
Stucco, portland cement	177135,57188
Wall board, gypsum, natural	63172,54751
Totale complessivo	9418333,27355

Tabella 13: Valori di GWP divisi per gruppi di materiali da Report in Excel di Tally – Modifica acciaio/metallo + composito

COMBINAZIONI MODIFICHE	VALORE GWP	DIMINUZIONE VALORE TOTALE GWP
Stato di fatto - Nessuna modifica	20089859,09	0%
Muratura+Acciaio/Metallo	15009641,34	25,3%
Muratura+Composito	17216389,09	14,3%
Acciaio/Metallo+Composito	9418333,274	53,1%

Tabella 14: Riepilogo e confronto valori GWP tra lo stato di fatto e le modifiche proposte

Una volta completate tutte le analisi e ottenuti i grafici e i valori, i dati finali sono stati raccolti nella tabella 14 per analizzarli e confrontarli. La prima riga è riservata al valore totale di GWP, della Categoria Walls-Muri, dell'impianto esistente, le successive tre righe si riferiscono alle tre modifiche di macro-gruppi di materiali proposte, con i valori totali di GWP a fianco.

Nell'ultima colonna è presente la percentuale di diminuzione del valore di GWP rispetto al valore totale dell'esistente e si può facilmente notare come la modifica numero 3, quella ai macro-gruppi di Acciaio/Metallo + Composito, sia quella con una percentuale di diminuzione maggiore, e perciò quella più indicata da proporre per diminuire l'impatto ambientale dell'edificio.

Una volta inseriti su Dynamo i valori nuovi di GWP della modifica scelta, i nuovi valori del parametro condiviso GWP vengono compilati direttamente e si ottiene la tematizzazione dell'impianto con i muri modificati. È stato nascosto il tetto dalla vista tramite il comando *hide in view* perché altrimenti nella visualizzazione 3D non si sarebbe visto il cambiamento di colore dei muri (Figura 105).

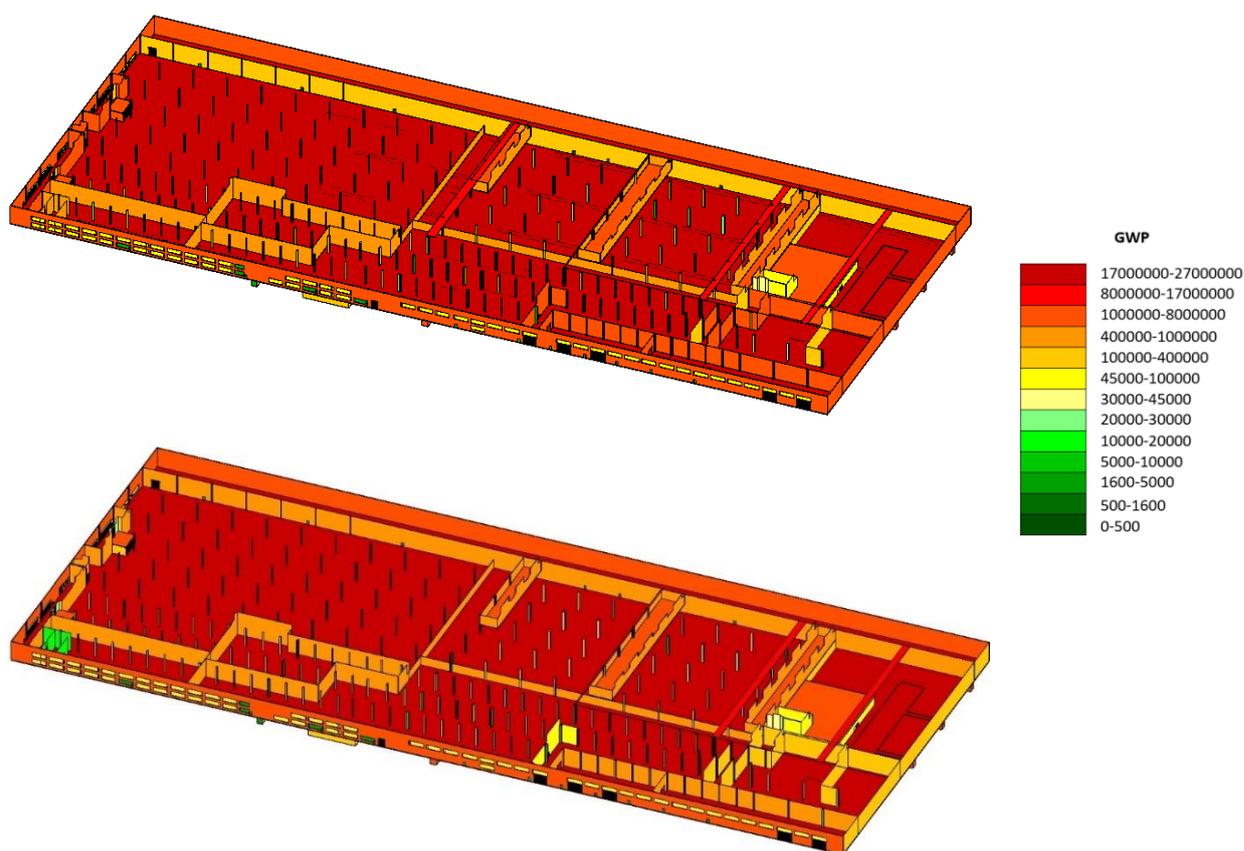


Figura 105: tematizzazione su Revit dell'impianto di lastratura - stato di fatto sopra, stato dopo la modifica dei muri sotto

Una volta convalidata la scelta della tipologia di modifica si è interrogati sulla fattibilità, anche remota, dell'attuazione della modifica. Per farlo è stato contattato un professionista che lavora all'interno dell'impianto di Lastratura il quale ha confermato la possibilità di attuazione della modifica proposta, affermando che i muri considerati non hanno funzione strutturale ma

solamente quella di divisorio tra i locali. La scelta dei materiali scelti all'epoca è stata, molto probabilmente, dettata da ragioni economiche.

Per completezza, nella figura 106 è presente una pianta dell'impianto allo stato di fatto con la divisione dei locali e la legenda a colori. Su quest'ultima sono stati disegnati dei rettangoli rossi che indicano i muri di acciaio/metallo e quelli in blu che indicano i muri in composito.

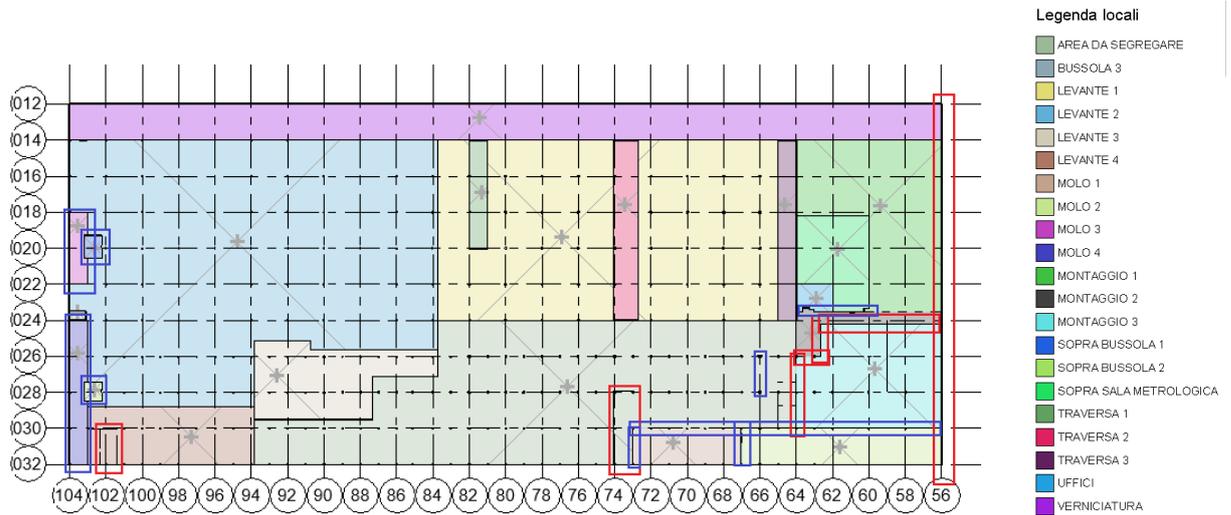


Figura 106: Pianta stato di fatto impianto di lastratura con divisione locali- rettangoli per segnalare posizione muri in acciaio/metallo (rosso) e composito (blu)

5.0 ANALISI CRITICA E SVILUPPI FUTURI

5.1 Raccolta dei risultati finali ottenuti

L'analisi LCA dell'impianto, nella condizione di stato di fatto e in quella con i muri e il tetto modificati, ha permesso di ottenere un overview completa del miglioramento dell'impatto ambientale dell'impianto (Figure 107 e 108): il valore di GWP dell'intero edificio è sceso **da 89.139.766 Kg CO₂ eq. a 76.038.257 Kg CO₂ eq.**

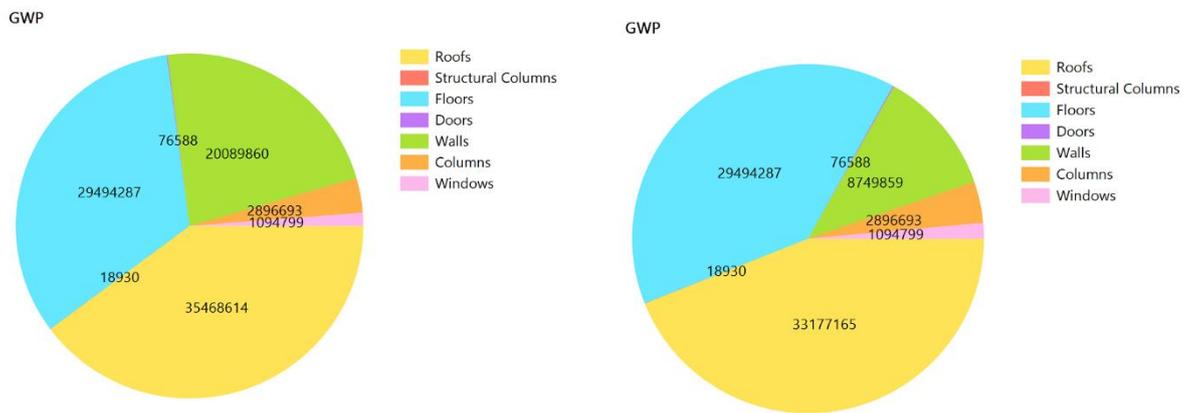
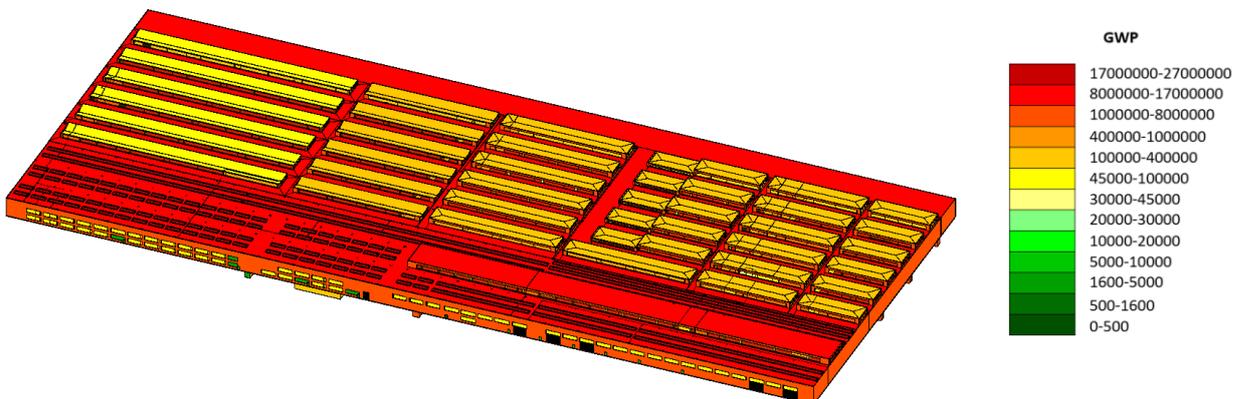


Figura 107: Confronto grafico a torta con valori GWP tra impianto nello stato di fatto (sinistra) e impianto con applicate le modifiche a tetto e muri (destra)



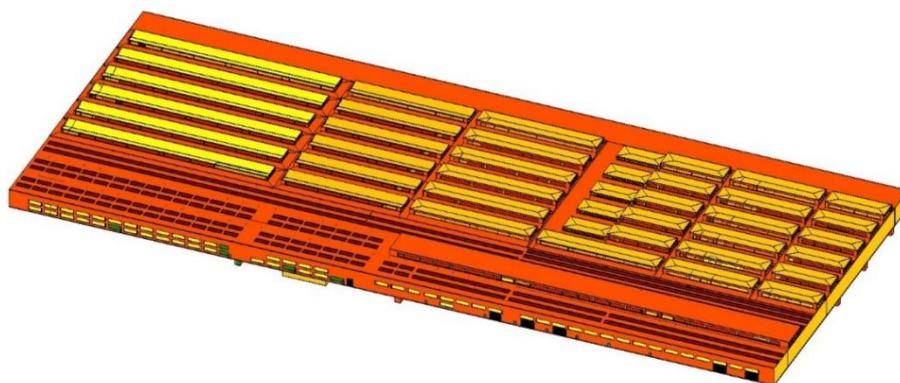


Figura 108: tematizzazione impianto-Impianto nello stato di fatto sopra, impianto con modifiche a muri e tetto sotto

Per completare lo studio è stato deciso di impostare una tavola con all'interno tutti gli output ottenuti sul modello Revit, così da poter monetizzare il lavoro svolto in termini di visualizzazione. La tavola in questione si trova nell'allegato n.5 ed è divisa in quattro parti: sulla parte alta del foglio è presente una rappresentazione in 3D del modello nella condizione di stato di fatto, a fianco è presente la tabella riassuntiva di quantity e material take off da Revit, compresa di area e % GWP dei macro-gruppi di materiali (Tabella 10). In basso a sinistra è presente la tematizzazione, nella scala di colori secondo gruppi di valori di GWP presentata in figura 66, dell'edificio originale senza tetto (sopra) e dell'edificio senza tetto ma con i muri modificati (sotto). In basso a destra è presente la tematizzazione dell'edificio originale con tetto (sopra) e la tematizzazione dell'edificio con muri e tetto modificati (sotto). In basso a destra sono presenti i grafici a torta di: impianto originale (il primo in alto), impianto con muri modificati (in centro) e impianto con muri e tetto modificati (ultimo in fondo).

5.2 Visualizzazione risultati tramite il BIM Viewer Dalux

L'ultimo passaggio dello studio è stato quello di portare la visualizzazione del lavoro fatto a un livello superiore, attraverso l'utilizzo dello strumento BIM Viewer Dalux.

Dalux è un software danese in cloud gratuito, con app annessa disponibile, che permette la visualizzazione in 3D del modello di Revit e la collaborazione tra i professionisti impegnati nel progetto. È molto utile sia per lo studio portato avanti in queste pagine sia per le attività di progettazione sostenibile in generale, perché consente di osservare, attraverso i propri dispositivi mobili (laptop, smartphone, tablet, ecc.), l'evoluzione del progetto sia dal punto di vista estetico che dal punto di vista delle proprietà. È possibile, infatti, muoversi virtualmente all'interno del modello (Figura 109) e interagire con gli elementi che lo compongono cliccandoci sopra e scoprendo tutte le loro proprietà. Quest'ultime vengono caricate direttamente dal modello su Revit.



Figura 109: Dalux BIM Viewer per il modello Revit dell'impianto di Lastratura

Per utilizzare Dalux è necessario, prima di tutto, creare un profilo personale sul sito del software. Successivamente, è necessario scaricare il plugin di Dalux dal sito di Autodesk. Una volta aperto il modello si clicca su *Dalux, Upload*, si effettua il login e si completano le informazioni richieste dalla finestra delle impostazioni. È possibile anche cliccare il tasto *Comments* per essere costantemente in contatto con gli altri professionisti del progetto e scambiarsi commenti e appunti direttamente sul modello Revit. (Figura 110)

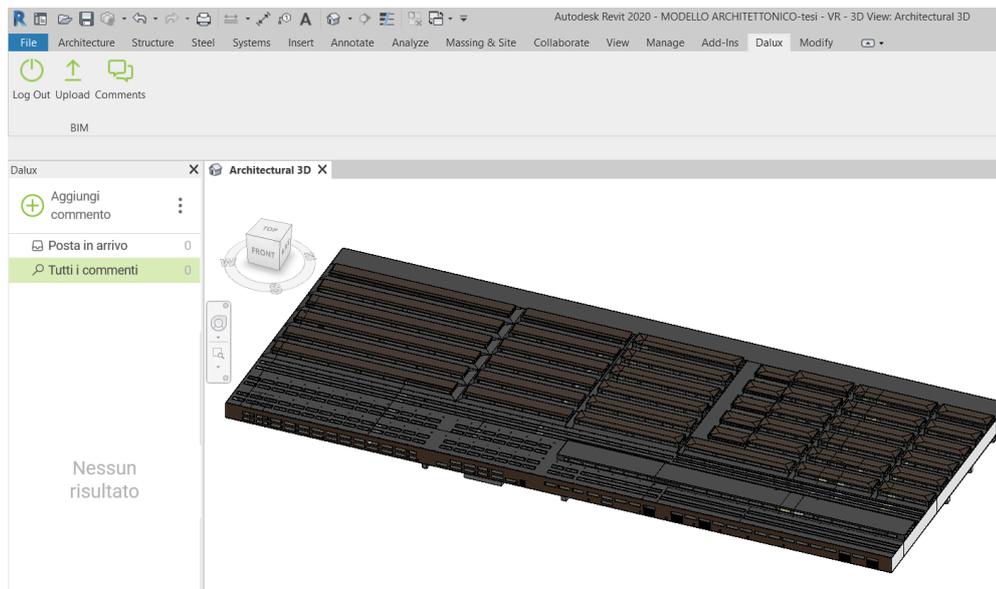


Figura 110: Schermata iniziale su Revit del plugin Dalux

Le informazioni richieste sono legate al file che si decide di caricare, nello specifico sono: il nome del progetto, il nome del file Revit di riferimento, i tipi di Viste e/o Fogli del file Revit da caricare sul BIM Viewer, il nome delle Viste da caricare (per un massimo di 30) e il parametro degli elementi da caricare come “Disciplina principale”, il quale, per questo studio, è il parametro GWP (figura 111, 112, 113). Una volta impostati tutti questi options è possibile esportare il modello di Revit sul BIM Viewer del sito o sul software e app scaricabili.

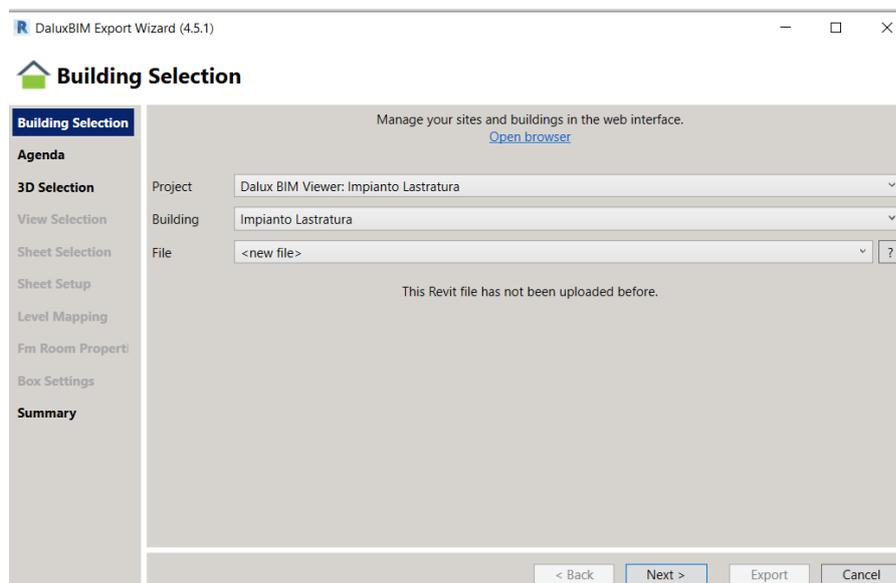


Figura 111: Finestra impostazioni per l'esportazione del modello di Revit sul software Dalux

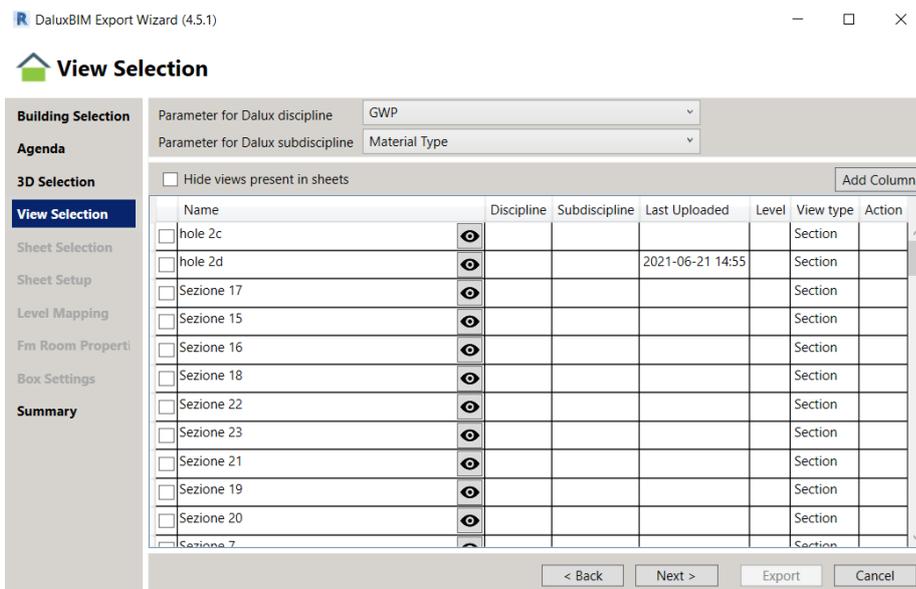


Figura 112: Finestra impostazioni per l'esportazione del modello di Revit sul software Dalux- parametro di disciplina

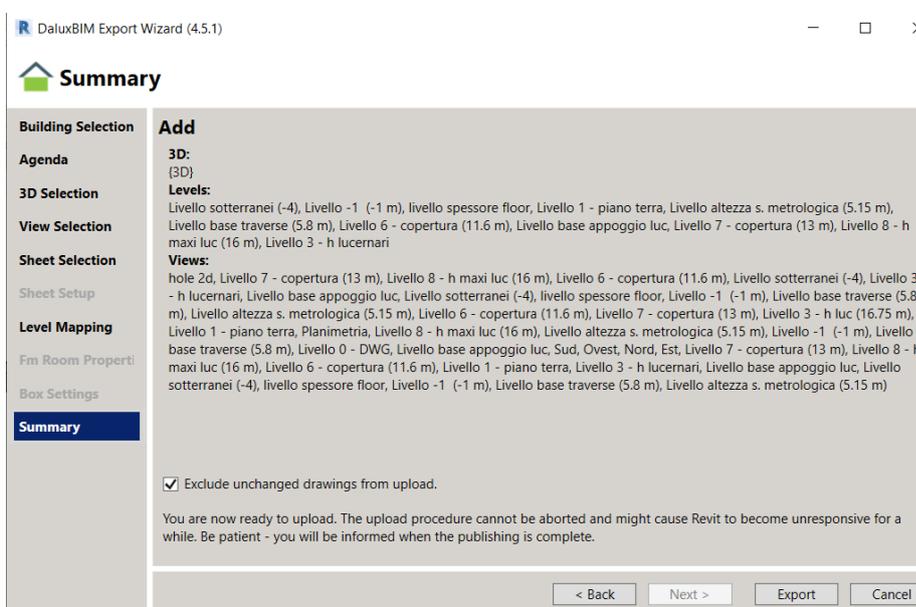


Figura 113: Finestra impostazioni per l'esportazione del modello di Revit sul software Dalux-Sintesi informazioni inserite

Una volta caricato è possibile muoversi all'interno del modello, attraverso i comandi del mouse o i tasti sulla tastiera, e impostare:

- I filtri di vista (figura 114): si possono impostare dei filtri in base a un range di valori applicati a una o più proprietà (come, ad esempio, il parametro GWP). Più precisamente: posso utilizzare la funzione “Hide” o “Isolate” che mi permette di nascondere o isolare un elemento a seconda che il valore della proprietà scelta sia *equivalente*, *cominci con*, *termini con*, *contenga e sia presente nell'elenco* un valore prefissato. Ad esempio, se voglio sapere quali elementi abbiano un valore di GWP che sia pari a cento posso impostare quel filtro e vedrò soltanto gli elementi con quel valore di parametro;

- Un livello di rendering più o meno elevato;
- Il tipo di zoom ed estensione per la corretta visualizzazione del modello;
- Impostazione di filtri di colore in base a proprietà e range di valori (come nel primo punto della lista);
- La funzione Segnalibro per salvare una determinata impostazione di schermata e poterci tornare quando si vuole;
- Commenti: vengono aggiunte note al progetto, sia sulla schermata del software sia sulla pagina principale del plugin di Revit, che verranno condivisi con gli altri professionisti a cui è possibile accedere al modello.

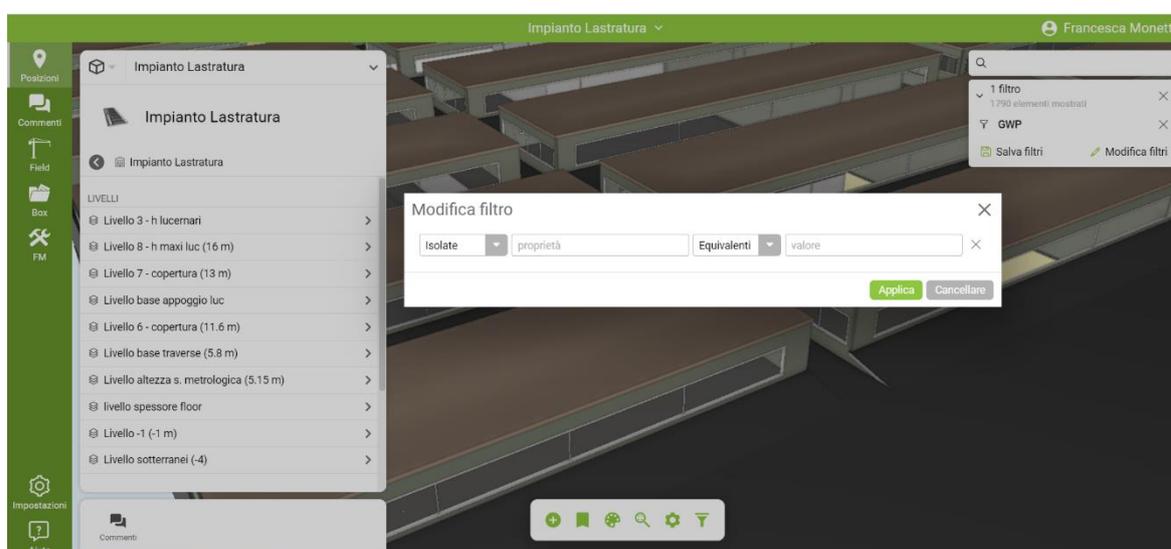


Figura 114: impostazione filtri sul BIM Viewer Dalux

Camminando virtualmente all'interno dell'edificio è possibile cliccare sugli oggetti e osservare la tendina, con le informazioni dell'elemento, aprirsi a sinistra (Figura 115); nella lista è presente anche il valore di GWP. Tra le opzioni c'è anche quella di nascondere l'oggetto o aggiungere un commento a quest'ultimo. Nella barra centrale in fondo è possibile anche sezionare l'edificio sulla linea di posizione dell'elemento, isolare l'elemento in una "box" e misurare le distanze intorno con un semplice puntatore sullo schermo. Le stesse funzionalità sono disponibili sull'app per i dispositivi mobili come smartphone e tablet, utile per le visite in cantiere (Figura 116).

Lo scopo di questo studio è stato quello di calcolare un parametro che permettesse di quantificare l'impatto ambientale dell'edificio attraverso l'integrazione BIM-LCA. Uno dei principali vantaggi di questa integrazione è quello di integrare il problema della sostenibilità ambientale alle scelte progettuali fin dalle prime fasi della progettazione. Strumenti come Dalux permettono di sfruttare la visualizzazione 3D e di osservare l'impatto degli elementi semplicemente cliccandoci sopra e leggendo il valore nella tendina delle proprietà. Questa funzione, nella fase iniziale del progetto, è utile, ad esempio, nella scelta dei materiali da utilizzare: si può vedere in un solo schermo sia l'effetto

estetico che l'impatto ambientale che genereranno le scelte effettuate. Oppure in caso di interventi di ristrutturazione/miglioria, girando virtualmente nell'edificio si può cliccare sugli elementi e capire quali hanno la priorità di sostituzione per ottenere un impatto ambientale totale dell'edificio minore.

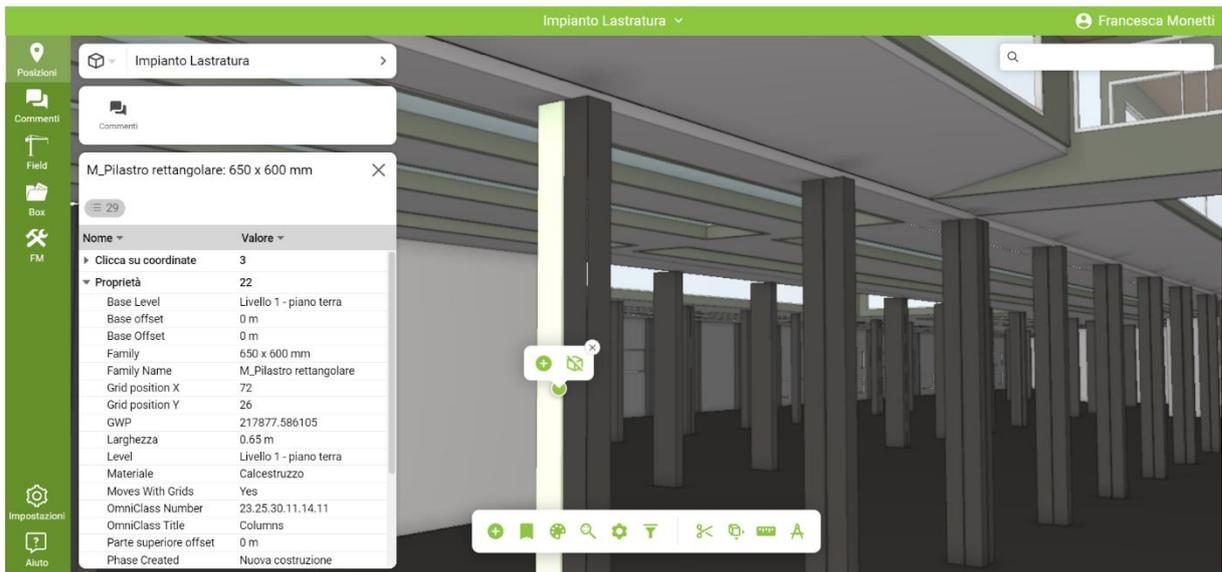


Figura 115: Visualizzazione su Dalux del modello Revit con opzioni di indagine proprietà elementi

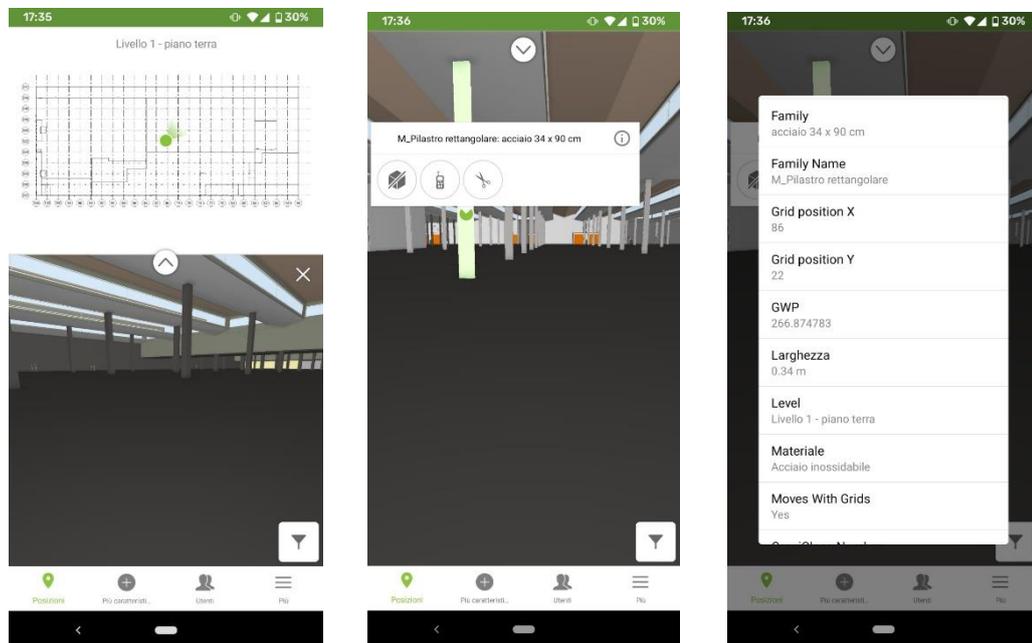


Figura 116: App Dalux con visualizzazione proprietà elemento pilastro da smartphone

5.3 Analisi finale con Conclusioni riassuntive e Progetti futuri

Lo studio portato avanti nei capitoli precedenti ha dato risultati soddisfacenti, sebbene alcuni passaggi della metodologia e gli strumenti utilizzati siano da migliorare. Come, ad esempio: tutti gli step del workflow metodologico si basano sull'interoperabilità tra i softwares e plugins scelti, cambiando la disponibilità di questi due i passaggi andrebbero ripensati e, probabilmente, modificati. Inoltre, tutti i softwares e plugins utilizzati richiedono una licenza, quindi l'accessibilità non è garantita a tutti i professionisti nei diversi possibili contesti.

Per quanto riguarda la scelta del plugin LCA, Tally, sebbene fosse la scelta più indicata per la tipologia di studio portata avanti in queste pagine, riserva delle limitazioni anche importanti, come quella di avere un database limitato e non modificabile e avere una banca dati di prodotti utilizzati soprattutto nel Nord America. In un contesto diverso da questo, l'utilizzo di un plugin LCA differente è più indicato.

Il plugin Dynamo è molto utile e versatile, tuttavia, per poter trarre completo beneficio dalle sue funzionalità, sarebbe indicato uno studio del linguaggio di programmazione Python, abilità non così comune tra i professionisti nel campo dell'edilizia.

Per i progetti futuri sarebbe utile prendere in considerazione e calcolare anche le altre categorie d'impatto, inserendo, nel modello su Revit, i valori dei parametri associati. Infine, sarebbe interessante utilizzare la Realtà Virtuale e far interagire, direttamente sul modello, i progettisti e gli acquirenti, così da poter interrogare gli elementi dell'edificio sul loro impatto tramite pulsanti, immagini, colori, tutto ciò che può rendere più veloce e intuitiva la consapevolezza e la possibilità di agire direttamente sul modello, tramite diverse opzioni di modifica.

I software che permettono di utilizzare la Realtà Virtuale sono molti, tra quelli scaricati e osservati ci sono: Unity, software di gaming che consente, tramite l'utilizzo di un linguaggio di programmazione, di implementare il modello con diverse funzioni e di utilizzarlo in Realtà Virtuale e Dalux il quale, attraverso l'upgrade della licenza gratuita utilizzata per il BIM viewer del paragrafo precedente, consente di scaricare la versione Dalux Field e implementare la Realtà Virtuale al modello caricato sul software.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez Antón L., Díaz J., *Integration of Life Cycle Assessment in a BIM environment*, Procedia Engineering, Selected papers from Creative Construction Conference 2014, 2014, 85, pp. 26-32.
- Antón L.A., Díaz J., *Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction*, Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 4, 11/2015, pp. 28-38.
- Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA : gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*, Edizioni Ambiente, Milano, 2008.
- Dalia M. A. Morsi, Walaa S. E. Ismaeel, Ahmed Ehab Abd El Hamed, Ayman Ahmed Ezzat Othman, *Applying LCA-BIM integration for a sustainable management process*, Conference: ARCOM 2020, 09-2020.
- Dalla Mora T., Bolzonello E., Cavaliere C., Peron F., *Key Parameters featuring BIM-LCA Integration in Buildings: a practical review of the current trends*, Sustainability, 12, 17, 2020, 7182.
- Dalla Mora T., Bolzonello E., Peron F., Carbonari A., *PLEA 2018 HONG KONG Integration of LCA tools in BIM toward a regenerative design*, 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Hong Kong China, 02-2019.
- Hollberg A., Genova G., Habert G., *Evaluation of BIM based LCA results for building design*, Automation in Construction, 109, 2020, 102972.
- Hollberg A., Ruth J., *LCA in architectural design-a parametric approach*, The International Journal of Life Cycle Assessment, 21, 07-2016.
- Horn R., Ebertshausen S., Di Bari R., Jorgji O., Traunspurger R., Petra von Both, *The BIM2LCA Approach: an industry Foundation Classes (IFC)- Based Interface to Integrate Life Cycle Assessment in Integral Planning*, Sustainability, 12, 16, 2020, 6558.
- Kylili A., Fokaides P. A., Vacianas J., Seduikyte L., *Integration of Building information Modelling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) for sustainable constructions*, Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 4, 13, 2015, pp. 28-38.
- Manfredi M., *Applicazione della metodologia LCA (Life Cycle Assessment) per la valutazione della sostenibilità ambientale di prodotti, processi e tecnologie del settore agro-alimentare*, università degli studi di Parma, Dottorato di ricerca in Ingegneria Industriale, ciclo 27.
- Nwodo M.N., Anumba C.J., Asadi S., *BIM-based Life Cycle Assessment and Costing of Buildings: current trend and opportunities*, ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2017, 06-2017, 51-59.
- Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti = The future of drawing with BIM for engineers and architects*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.
- Potrč Obrecht T., Röck M., Hoxha E., Passer A., *BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review*, Sustainability, 12, 14, 2020, 5534.
- Rucińska J., Komerska A., Kwaitkowski J., *Preliminary Study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland using the LCA Approach*, Energies, 13, 13, 2020, 3298.

- Saheed O. Ajayi, Lukumon O. Oyedele, Ceranic B., Gallanagh M., Kabir O. Kadiri, *Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment*, International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 6, 03-2015.
- Santos R., A.Costa A., D. Silvestre J., Pyl L., *A validation study of a Semi-Automatic BIM-LCA tool*, 2° Congresso Português de Building Information Modelling, Instituto Superior Tecnico, Universidade de Lisboa, Portugal, 05-2018.
- Srinivasan R. S., Ingwersen W., Trucco C., Ries R., Campbell D., *Comparison of energy-based indicators used in life cycle assessment tools for buildings*, Buildinf and Environment, 79, 2014, 138-151.
- Tucker S.N., Ambrose M.D., Johnston D.R., Newton P.W., Seo S., Jones D.G., *LCADesign: an integrated approach to automatic eco-efficiency assessment of commercial buidings*, Paper w78-2003-403, 01-2013, Construction Informatics Digital Library.
- Wastiels L., Decuypere R., *Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Sustainable built environment conference 2019 (SBE19 Graz), 323, 09-2019, 012101

SITOGRAFIA

<https://unric.org/it/agenda-2030/>

https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_it#tab-0-0

<https://bimdictionary.com/terms/search>

<https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/lifecycle-graphic>

<https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>

https://it.wikipedia.org/wiki/Fiat_Mirafiori

<https://www.csqa.it/CSQA/Norme/Sostenibilita-Ambientale/ISO-14040-LCA>

<https://network.aia.org/viewdocument/tally-revit-application?CommunityKey=79d8bdfe-0ff1-430c-b5c9-7aef1aa8fd0a&tab=librarydocuments>

<https://www.oneclicklca.com/>

<https://dynamobim.org/>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la professoressa Osello per avermi dato l'opportunità di svolgere questo tema di ricerca. Poter scrivere una tesi su un ambito innovativo, che mi appassiona molto, è stato incredibilmente gratificante.

Ringrazio il professore Matteo Del Giudice per avermi seguito durante tutta la stesura della tesi, per ogni suo supporto e consiglio.

Infine, ringrazio la dottoranda Sara Giaveno per la sua disponibilità e gentilezza, fondamentali per il lavoro fin qui ottenuto.

1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009

1	Basic Roof: tetto lucernai	218900,117
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: Tetto generico - 400 mm 2	9149137,009
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
1	Basic Roof: tetto lucernai 3	26007199,67
210		3257090248

Allegato 2: Matrice dello stato dell'arte integrazione BIM-LCA, Parte 1.

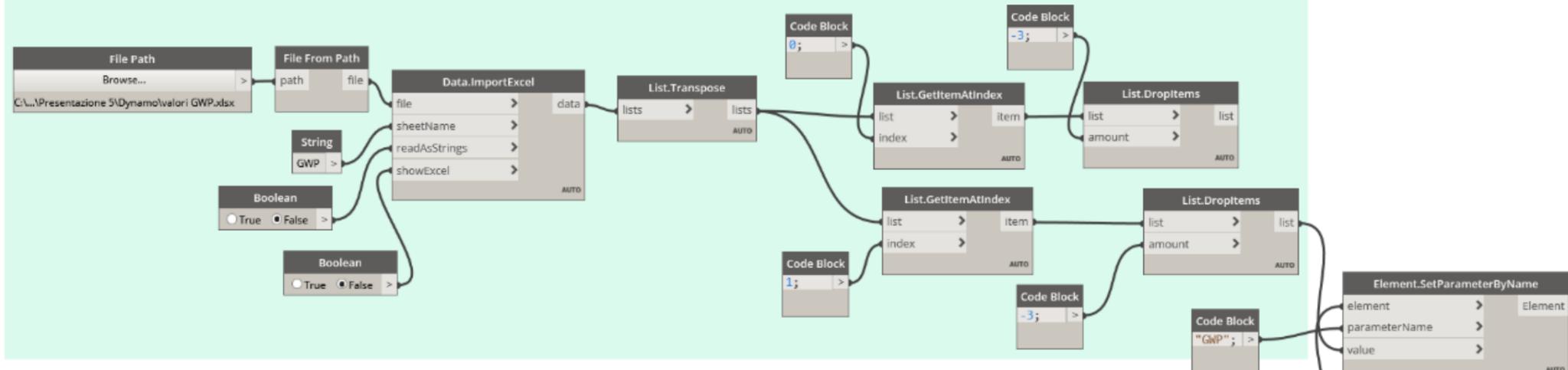
AUTORE	TOPIC	STRATEGY	INPUT DATA NEEDED	TOOLS FOR DATA ANALYSIS	DATA EXCHANGE PROCEDURE	RESULTS
<i>Laura Álvarez Antón, Joaquín Díaz</i>	Integration of Life Cycle Assessment in a BIM environment	Integrazione delle metodologie BIM e LCA per ottenere un approccio decisionale più conveniente e più a favore dell'ambiente, già a partire dalle prime fasi del progetto. Vengono presentate due strategie: la prima, più accurata e più complessa, è basata sulla valutazione del ciclo di vita della costruzione, l'LCA viene effettuata tramite accesso diretto alle informazioni del modello BIM; la seconda, meno precisa ma più facile da utilizzare è materials-oriented e include le informazioni LCA nei BIM object.	1) modello BIM con il quantity building data e i life-cycle inventory data con environmental indicators; 2) proprietà ambientali dei BIM object presenti nei database LCA	BIM tools, LCA tools, LCA database	LCA information Data (ELCD database, okobau.dat, ecc.) + informazioni parametriche BIM scambiate attraverso spreadsheet e/o IFC	Spreadsheet numerico
<i>Angeliki Kylli, Paris A. Fokaides, Juozas Vacianas, Lina Sedukyte</i>	Integration of Building information Modelling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) for sustainable constructions	Due casi studio per dimostrare come la sinergia delle due metodologie BIM e LCA sia fondamentale per un progetto più sostenibile fin dai primi stage di progettazione. È stata utilizzata la metodologia di raccomandazione del riferimento internazionale Life Cycle Data System (ILCD) ed è stato deciso di studiare 4 delle 13 categorie d'impatto.	1) BIM model con le caratteristiche di progetto; 2) il LCI (life cycle inventory) per i materiali e per l'energia	BIM tools, LCI database (GaBi database)	Spreadsheet con design characteristic of water supply systems, System boundaries of the LCA, LCI con database Gabi,	Grafici comparativi con valori della LCIA (impatti ambientali)
<i>Ruben Santos, António A.Costa, José D. Silvestre, Liny Pyl</i>	A validation study of a Semi-Automatic BIM-LCA tool	Validazione di un tool semi-automatic BIM-LCA Tally, tramite un caso studio. Vengono poste due domande a cui si risponde con due ipotesi da testare. La metodologia inizia selezionando il case study, successivamente si fa una raccolta e un'analisi dei dati d'impatto ambientale dei componenti del progetto. Poi si utilizza Tally per fare l'analisi LCA selezionando nel database i materiali più simili, si comparano i risultati e se i risultati non combaciano si incorporano le informazioni ambientali direttamente negli oggetti del progetto. Alla fine si usa Dynamo che legge i valori inseriti negli oggetti e li esporta su excel. (Questo processo è valido così per qualunque LCA tool, viene rimarcato il problema della digitalizzazione dei prodotti)	1) modello BIM; 2) EPD come risorsa dell'informazione ambientale+site specific data	BIM tools, LCA plugin (Tally), Dynamo	Data construction products with environmental information (EPD) dentro il modello parametrico BIM	Grafici a torta, File Excel dove i dati sono raccolti in gruppi su ciascun foglio
<i>Tiziano Dalla Mora, Erika Bolzonello, Fabio Penno, Antonio Carbonari</i>	Integration of LCA tools in BIM toward a regenerative design	L'articolo si focalizza su 3 fattori principali LCA database + analysis+BIM. Descrive come l'integrazione del LCA tool nel design process sia utile per diminuire l'impatto ambientale. Case study con due tipologie costruttive: test di interoperabilità tra LCA e BIM (con l'attività del EU-funded RESTORE COST action) per valutare in modo pratico come integrare BIM e LCA. I plugin LCA utilizzati e studiati sono Tally e One Click LCA.	1) BIM model con le caratteristiche di progetto;	BIM tools (Revit), LCA plugin (Tally, One click LCA)	Dati su spreadsheet sulla trasmittanza termica dei componenti + Life Cycle Stages according to EN 15804	Spreadsheet numerici su GWP e PED, grafici a torta su GWP e PED
<i>Laura Álvarez Antón, Joaquín Díaz</i>	Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction	L'articolo inizia analizzando 3 aree decisionali per migliorare l'approccio ambientale delle costruzioni: sustainable and integrated design, BIM, LCA. Importante l'integrazione dell'LCA con il BIM: per fare ciò propone un'analisi SWOT. Infine vengono proposti due approcci per l'integrazione: nel primo si estraggono dal progetto i dati e si usano per eseguire l'LCA dell'intera costruzione durante tutto il ciclo di vita, nel secondo si includono le informazioni LCA direttamente nelle proprietà dei BIM object.	1) BIM model; 2) LCA information	BIM tools, LCA software, LCA plugin, IFC compliant models	Dati parametrici su modello BIM + environmental informations	Modello BIM con incluse informazioni da LCA
<i>Joaanna Rucińska, Anna Komerska, Jerzy Kwiatkowski</i>	Preliminary Study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland using the LCA Approach	Studio sull'analisi LCA di 11 uffici in Polonia per fissare dei valori medi di indicatori che possono essere utilizzati come valori di riferimento per gli edifici di nuova costruzione. Viene utilizzata la metodologia BREEAM. L'obiettivo è quello di investigare un possibile range di valori dell'indice GWP totale normalizzato per superficie unitaria. Viene fatto un life cycle inventory (LCI) con raccolta dati e ipotesi di studio, i materiali vengono selezionati da un database di fornito dal tool di calcolo. Viene fatta la LCIA (life cycle impact assessment) calcolando così il valore GWP per le diverse fasi, per la durata totale del ciclo di vita degli 11 edifici. Infine viene eseguita la procedura per definire il GWP benchmark per edifici simili a quelli proposti dallo studio e viene proposta una suddivisione in 7 classi, in base al valore GWP, descritte in una tabella.	1) General and geometric Information on building elements and heating, ventilation and air conditioning (HVAC) system, data on users's clothing, activity level, weather data, internal gains; 2) Life Cycle Inventory (LCI);	Dynamic modelling software (Design Builder), LCA calculation tool (OneClick LCA)	Spreadsheet con : General Building information, energy use and primary energy demand, assessed building elements, heating sources used in buildings	Grafici con valori di GWP nei cicli di vita, grafico che correla la building mass e l'indice GWP nei life cycle, grafico con potential benefits beyond the assessed system boundary. Grafico con indice GWP normalizzato per tutti gli edifici
<i>Tajda Potrč Obrecht, Martin Röck, Endrit Hoxha, Alexander Passer</i>	BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review	Viene presentata la metodologia LCA che quantifica l'impatto ambientale degli edifici: l'obiettivo dello studio è quello di identificare gli approcci correnti di integrazione BIM-LCA e di determinare i pro e i contro del processo di integrazione da diversi punti di vista. Inizialmente viene fatta una review completa della letteratura da cui vengono identificati 60 case studies (da 60 papers). Viene analizzato il BIM-LCA workflow applicato: si trova che il BIM è il repository principale delle informazioni che vengono usate nell'analisi LCA, il processo di integrazione è uno scambio di dati tra due differenti tools. Vengono studiati i diversi approcci di integrazione e successivamente si dividono i casi studio in base: al grado del processo di integrazione e al fabbisogno energetico operativo della procedura di calcolo (3 gruppi). Si studia poi il data exchange, il data lack e l'information loss. Importante: il calcolo per LCA dovrebbe essere usato come supporto nello sviluppo del progetto, non come documento dei risultati del progetto. Organizzazione, integrazione, standardizzazione sono le parole chiave e 3 sono i temi di studio principale rilevati.	1) informazioni sulla quantità e sulla qualità dei materiali e sul fabbisogno energetico dell'edificio	BIM tools, LCA tools, Excel-based tools	Analisi sistematica di 60 BIM-LCA case studies attraverso lo studio dei workflows nel dettaglio, questi utilizzano un manual or semiautomatic data exchange tra il modello BIM e il LCA tool.	Risultati della review sintetizzati in grafici, workflow e tabelle
<i>Alexander Holberg, Jürgen Ruth</i>	LCA in architectural design-a parametric approach	L'articolo presenta un approccio LCA parametrico che permette agli architetti di ridurre in modo efficace l'impatto ambientale del progetto edilizio. Il metodo, utilizzato poi in due casi studio, si divide in diversi step: prima vengono analizzati i requisiti per un progetto con LCA integrato, poi vengono fatte delle assunzioni per semplificare i dati richiesti e viene stabilito un modello che parametrizza tutti gli input necessari e calcola LCA in tempo reale. Per migliorare il progetto gli architetti hanno due opzioni: cambiare manualmente la geometria, i materiali e i servizi oppure utilizzare un risolutore di ottimizzazione. Lo studio mostra anche le discrepanze tra l'applicazione della LCA nella teoria e nella pratica, elenca i tool LCA esistenti e il loro funzionamento. Infine viene calcolato il "life cycle impact" come somma del "operational impact" e del "embodied impact", che sono gruppi di quantità di energia in diverse fasi.	1) La geometria dell'edificio, i materiali e i servizi, 2) Condizioni al contorno come clima, profili utenti e RSP (reference service period), 3) database LCA	BIM tool, parametric LCA tool, dynamic building energy simulation (Energyplus), Excel	I dati dei materiali sono divisi in 3 categorie: fisiche, ambientali e reference service life. Sono dati parametrici e vengono importati da un 3D software CAD su un programma di calcolo oppure il calcolo viene fatto direttamente sul plugin senza bisogno dello step d'importazione.	I risultati si possono visualizzare direttamente sul 3D software CAD e poi esportati in uno spreadsheet con grafici annessi.
<i>Ravi S. Srinivasan, Wesley Ingwersen, Christian Truac, Robert Ries, Daniel Campbell</i>	Comparison of energy-based indicators used in life cycle assessment tools for buildings	L'articolo utilizza 2 LCA tools esistenti (EIO-LCA e ATHENA Impact estimator) e un modello di calcolo basato sul processo per stimare l'energia utilizzata nel ciclo di vita di un edificio. Inoltre testa l'LCA tool Ecologically (Eco-LCA) e l'applicazione della "emergy methodology". È stata scelta un'università della Florida come case study. I quattro metodi vengono messi a confronto analizzando il costruito e vengono differiti secondo: 1) la metodologia di collezione dei dati; 2) l'integrità dei dati; 3) system boundary; 4) valutazione dei eco-system goods.	1) la geometria dell'edificio, i materiali e i servizi, (moltiplicato per unità di energia, 2) dettagli del life cycle stages (in particolare della costruzione), 3) per ottenere l'energia di manutenzione servono i GMP (Guaranteed Maximum Price), 4) economic input per LCA tools	1) LCA tools	I dati vengono inseriti in un foglio perimpostato per la valutazione dell'energia per il primo tool, per il secondo vengono inseriti manualmente i dati sul software di calcolo.	I risultati ottenuti sono sotto forma di elenchi di dati-valori, tabelle e grafici a torta.

Allegato 2: Matrice dello stato dell'arte integrazione BIM-LCA, Parte 2

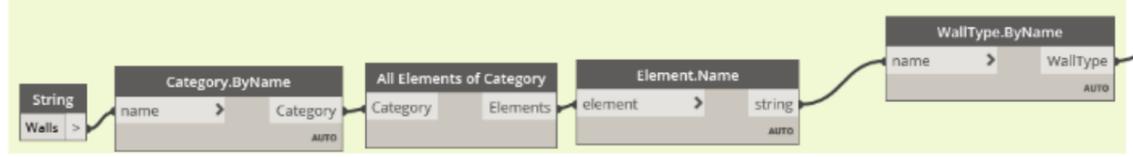
<i>M.N. Nwodo, C.J. Anumba, S.Asadi</i>	BIM-based Life Cycle Assessment and Costing of Buildings: current trend and opportunities	Per rispondere ai problemi dati dalla scarsa interoperabilità e dall'utilizzo di molti tools nello stadio iniziali di progettazione questo paper propone una "real time BIM-integrated LCA/LCC" che permette al progettista di ricevere feedback immediati agli stadi chiave del processo di progettazione. Vengono presentati i procedimenti di LCA e LCI analysis, il modelling method per LCA e i LCA tools. Viene inoltre presentato il tool LCADesing. Vengono analizzate le forze e le debolezze dei BIM-integrated LCA in base ai risultati ottenuti. Vengono individuati dei "knowledge gas" e si propone un real-time BIM-LCA framework per avere un'integrazione migliore.	1) BIM model, 2) LCI Database, 3) EPD	BIM tools, LCA software, LCA plugin, IFC compliant model	Analisi sistematica della letteratura sul BIM-LCA tramite comparazione di report.	Tabella riassuntiva e workflow metodologico rivisitato da uno esistente.
<i>S.N. Tucker, M.D. Ambrose, D.R. Johnston, P.W. Newton, S.Seo and D.G. Jones</i>	LCADesign: an integrated approach to automatic eco-efficiency assessment of commercial buildings	Si analizza il plugin LCADesign che permette un approccio completamente integrato per le valutazioni sull'efficienza, dal punto di vista ambientale, di edifici commerciali direttamente dal CAD 3D. LCADesign è stato sviluppato come un tool per la valutazione dell'edificio, che include databases e un decision-support tools accettato dal governo australiano e dall'industria. Scambia dati con altri softwares tramite l'IFC. Il "LCADesign information flow" si compone di 5 step. I building quantity data vengono estratti dal modello 3D e importati nel Relational database.	1) 3D CAD model, 2) component product quantities costs; 3) tools for viewing information; 4) material database contents	BIM tools, LCA plugin (LCADesign)	I dati vengono gestiti dal sistema EDM (express data) e su di esso i dati vengono importati tramite IFC. Le quantità vengono estratte dal modello 3D CAD tramite IFC.	I Risultati vengono dettagliati tramite grafici ad area.
<i>Dalia Morsi Ahmed Morsi, Walaa S E Ismael, Ahmed Ehab Abd El Hamed, Aymun Ahmed Ezgat Othman</i>	Applying LCA-BIM integration for a sustainable management process	L'articolo studia i benefici e le potenzialità dell'integrazione LCA-BIM, utilizzando come esempio un case study in Egitto, per raggiungere un processo di gestione sostenibile in paesi a medio-basso reddito e individuare quindi i materiali da utilizzare a impatto ambientale minore. Vengono utilizzati Revit modelling e One Click LCA plugin. Il workflow utilizzato per il calcolo di LCA è quello che si basa sull'utilizzo di un BIM software e di un plugin LCA integrato che restituisce direttamente i risultati LCA. I passaggi per la valutazione LCA sono 7 ma possono essere racchiusi in 3 fasi: "Pre-operational Phase"(materiali, elettricità e acqua), "The Operational Phase" (energia servizi comuni e manutenzione edificio) e "The Post-Operational Phase"(recupero energia e materiali riciclati). La seconda fase è quella con impatto ambientale più grave.	1) informazioni sui materiali; 2) informazioni sulle fasi di costruzione	BIM tool (Revit), LCA plugin (One Click LCA)	I dati vengono trasmessi sul plugin direttamente dal modello 3D di Revit, alcuni dati mancanti vengono inseriti manualmente.	I risultati sono ottenuti tramite lista di valori e informazioni associate.
<i>L. Wastiel, R. Decuyper</i>	Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies	L'articolo propone 5 strategie-workflows per integrare LCA e BIM fin dalle prime fasi di progetto. Le strategie hanno un crescente livello di integrazione che partono dal BOQ da importare nel LCA software fino al calcolo del LCA in tempo reale utilizzando direttamente le informazioni dal modello BIM.	1) BIM based project design; 2) BOQ spreadsheet; 3) geometric parameters con GUID; 4) LCA profili associati alla geometria e al materiale e inseriti immediatamente nell'ambiente BIM	Native BIM software, BIM viewers, LCA software, LCA plugin for native BIM software	I dati vengono trasmessi dal BIM software al LCA software tramite: BOQ su Excel, IFC o direttamente sul plugin del BIM model.	I risultati della ricerca sono sintetizzati in 5 workflows.
<i>Sabed O. Ajayi, Lukumon O. Oyedele, Boris Ceranic, Mike Gallanagh, Kabir O. Kadiri</i>	Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment	Lo studio mira a valutare in che misura le specifiche dei materiali da costruzione incidono sulle prestazioni ambientali nel corso del ciclo di vita, utilizzando una metodologia BIM-LCA. Viene utilizzato, su un caso studio esistente, un BIM tool associato a un tool di simulazione energetica e ad un LCA tool per la valutazione. La performance del ciclo di vita è stata prima valutata in termini di GWP e di impatto sulla salute. Il risultato è un quadro metodologico che permette ai professionisti di valutare l'impatto ambientale di diverse opzioni di materiali in fase di progettazione. Come linee guida sono state utilizzate le norme internazionali. Il processo di studio inizia dal modello BIM (Revit) al quale è stato applicato un material take-off per stimare i volumi in gioco. Viene utilizzato un foglio excel per dividere i componenti dell'edificio. L'energia operativa richiesta dall'edificio è stata determinata con l'aiuto di Revit e GBS e i risultati vengono inseriti nel Impact Estimator per determinare l'impatto ambientale del ciclo di vita dell'edificio. I risultati mostrano come ci sia una relazione diretta tra il fattore GWP e l'impatto sulla salute.	1) informazioni generali sull'edificio; 2) descrizione componenti costruttivi con relativi materiali;	BIM tool (Revit), LCA tool, (ATHENA Impact Estimator), Energy simulation tool (Autodesk GBS) , Excel	I dati vengono inseriti nel software ATHENA Impact Estimator tramite i parametri condivisi di Revit per le categorie d'impatto, mentre per le stime sull'energia usata è stato fatto collegando i dati di Revit al software Autodesk GBS tramite link diretto. Infine questi ultimi dati vengono reinseriti su ATHENA per avere l'analisi completa finale.	Come risultati avrò dei grafici comparativi per i diversi stage di vita dell'edificio e diverse categorie d'impatto.
<i>Tiziano Dalla Mora, Erika Bolzonello, Carmine Cavalliere, Fabio Peron</i>	Key Parameters featuring BIM-LCA Integration in Buildings: a practical review of the current trends	L'articolo si propone di presentare lo stato dell'arte, della ricerca pubblicata negli ultimi 10 anni, sull'integrazione BIM-LCA come metodologia dove l'approccio BIM supporta e semplifica il data management per l'analisi LCA. Vengono analizzati e comparati i diversi lavori di ricerca attraverso i seguenti argomenti: il LOD, i tools BIM-LCA, gli stage LCA, i database utilizzati e infine le categorie d'impatto. Il risultato è stata la scoperta della presenza di un quadro generale eterogeneo che permette di definire gli approcci comuni e diffusi finora, individuando le caratteristiche principali, per poterlo così utilizzare come punto di partenza per gli sviluppi futuri.	1) articoli pubblicati negli ultimi 10 anni sull'integrazione BIM-LCA	PDF Reader, Excel	Analisi dello stato dell'arte tramite la comparazione delle diverse metodologie di diverse pubblicazioni.	Workflow e grafici riassuntivi di comparazione tra risultati delle diverse metodologie.
<i>Rajael Horn, Sebastian Ebertsauer, Roberta Di Bari, Olivia Jorgij, René Traunsperger, Petra von Both</i>	The BIM2LCA Approach: an industry Foundation Classes (IFC)- Based Interface to Integrate Life Cycle Assessment in Integral Planning	Gli autori presentano un approccio per l'integrazione LCA in tutte le fasi della progettazione digitale che mira alla certificazione DGNB. Vengono presi in considerazione diversi livelli di dettaglio e di disponibilità dei dati, durante le diverse fasi di progettazione, così come i contesti applicativi LCA risultanti. Propone una nuova strategia in cui si considerano softwares sia BIM che LCA attraverso un workflow basato su un unico formato di dati. Lo studio è stato applicato a un case study in Germania. Si conclude provando che l'approccio OPEN BIM per l'integrazione LCA nel progetto model-based: è fattibile ma richiede diversi regolazioni per quanto riguarda l'IFC, LCA e le pianificazioni. L'approccio utilizzato si chiama "BIM2LCA", l'obiettivo principale è l'implementazione di un processo di pianificazione integrato attraverso interfacce IFC normalizzate per il collegamento di tool LCA con modelli BIM (tramite input di dati), così come la preparazione e la configurazione dei dati di risultato LCA per l'utilizzo in un sistema di classificazione di sostenibilità.	1) la geometria dell'edificio e dei suoi componenti, 2) dettagli sui materiali dell'edificio	BIM tool, LCA tool, CAD platform	I dati geometrici e materiali dell'edificio del case study sono stati creati sul BIM Model, questi dati vengono esportati nei formati IFC o XML e importati sul LCA tool. I risultati vengono rimportati sul Modello BIM tramite il formato IFCXML.	Valori ottenuti dall'analisi visibili direttamente sul Modello BIM.
<i>Alexander Höllberg, Gianluca Genova, Guillaume Habert</i>	Evaluation of BIM based LCA results for building design	Descrive la prima applicazione di un BIM-LCA tool nel valutare l'andamento del valore del GWP attraverso l'intero processo di progettazione di un edificio esistente in Svizzera. Il fulcro dello studio è il calcolo continuo dell'LCA in un BIM based model così da avere continui feedback che permettano di migliorare le performance ambientali durante la fase di progetto. Il metodo è diviso in due parti: la prima descrive il workflow BIM-LCA utilizzato e i tool usati per calcolare il GWP utilizzando i dati estrapolati dal BIM model (5 steps che includono l'utilizzo di Revit, Dynamo e Excel), la seconda parte descrive il monitoraggio dello sviluppo del modello BIM attraverso il processo di progettazione "congelando" la fase corrente ogni settimana.	1) informazioni geometriche e materiali dell'edificio per ogni fase di progetto (BoQ), 2) KBOB Database	BIM tool (Revit), Dynamo, Excel	I dati dei parametri ambientali vengono raccolti in uno spreadsheet e poi caricati su Dynamo, i BOQ vengono esportati da Revit e importati su Dynamo. Su quest'ultimo i due gruppi di dati vengono combinati e moltiplicati, e vengono restituiti i valori degli impatti ambientali totali che vengono successivamente esportati in formato Excel o direttamente su Revit.	I risultati vengono restituiti su spreadsheet e possono essere reimportati su Revit per la visualizzazione attraverso codici di colori direttamente sul modello.

Allegato n.3: Script di Dynamo per la prova dei tre muri del capitolo 3.

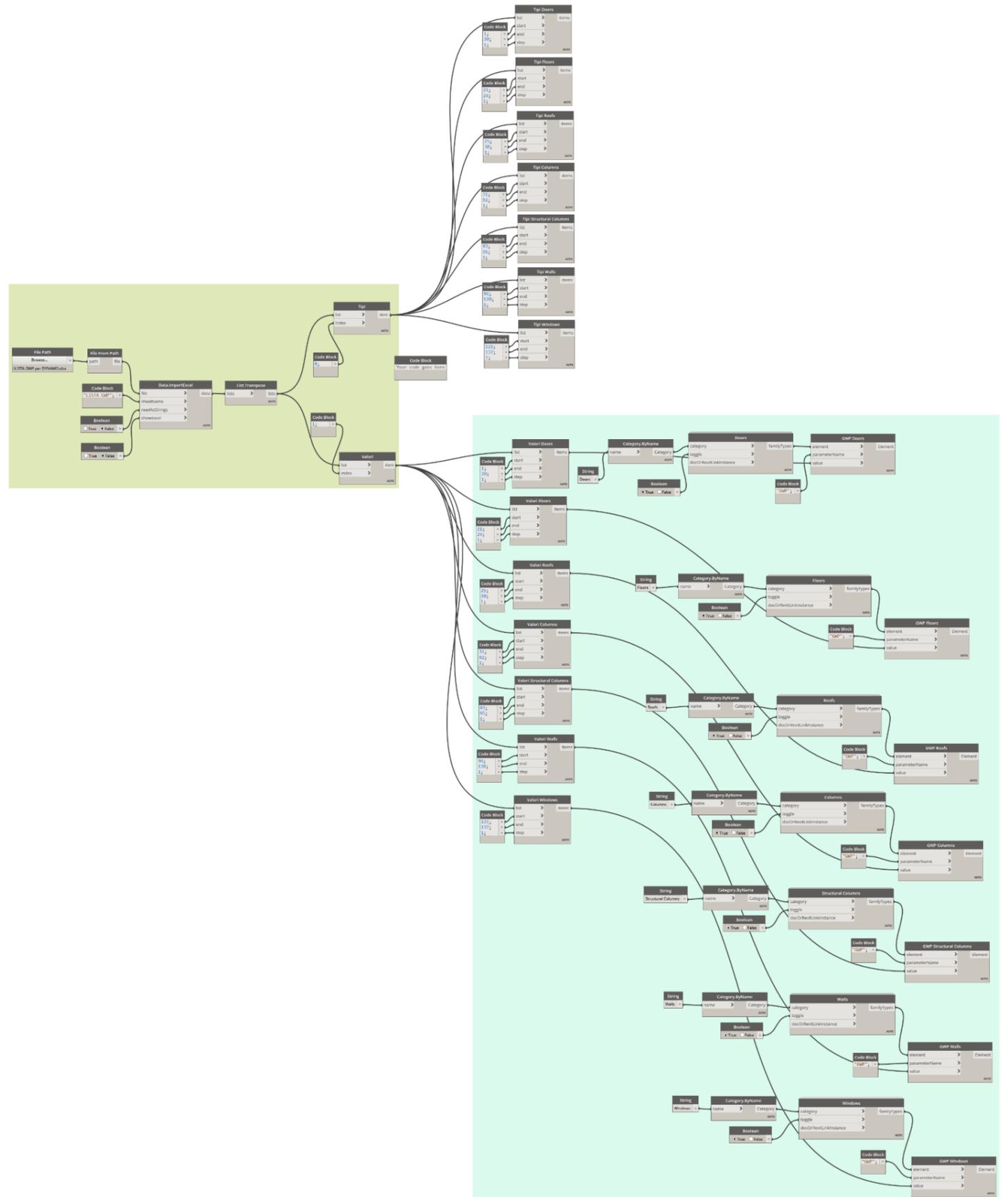
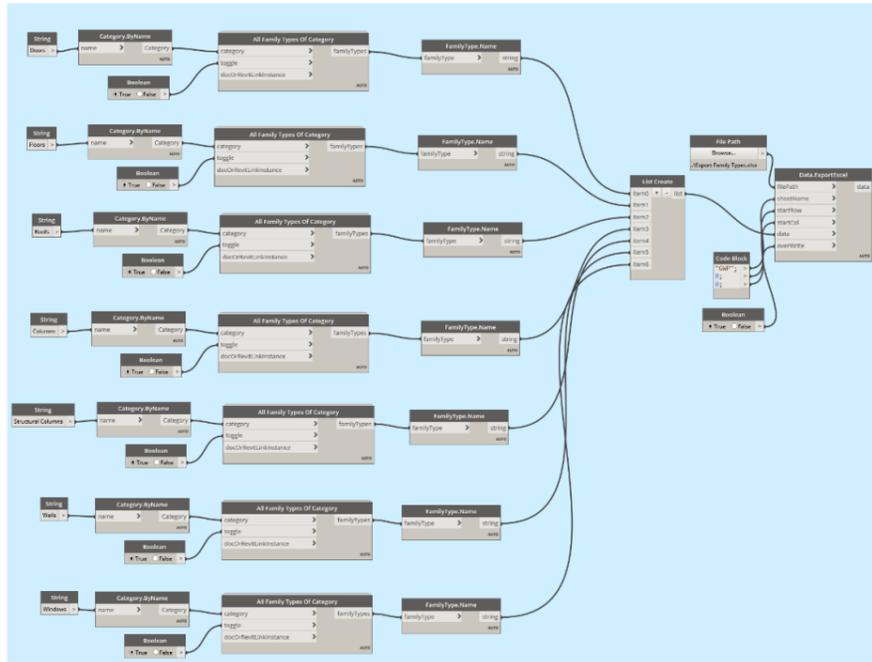
Valori GWP importati da Excel



Estrazione elementi Walls da Revit



Allegato n.4: Script di Dynamo per l'inserimento dei valori di GWP sul modello dell'impianto di Lastratura su Revit.



Allegato n.5: Tavola finale studio sul valore GWP nell'impianto di Lastratura di Mirafiori con proposte di modifiche.

