

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Earthship: modello di economia circolare?



Relatore

Prof.ssa Elena Piera *MONTACCHINI*

Candidata

Giulia *FIOCCA*

Corelatori

Prof.ssa Arianna *FONSATI*

Dott. Antonio Marco *MANGIONE*

Febbraio 2022

"Se vuoi conoscere il tuo passato, sapere che cosa ti ha causato, allora osservati nel presente, che è l'effetto del passato. Se vuoi conoscere il tuo futuro, sapere che cosa ti porterà, allora osservati nel presente, che è la causa del futuro."

[Hermann Hesse]

Abstract

Al fine di studiare i connotati e gli strumenti di analisi propri dell'edilizia circolare, in questa tesi viene esaminato il caso studio Earthship, modulo abitativo autosufficiente noto in tutto il mondo come modello di economia circolare. Nascendo questa tesi dalla concreta volontà dell'associazione OffGrid Italia di introdurre il concetto Earthship anche su territorio italiano, il caso studio in questione viene descritto attraverso le linee guida per la progettazione circolare, pubblicate nell'anno 2020 dal GBC Italia, al fine d'indagare l'effettivo potenziale di circolarità del progetto. Dopo aver analizzato i punti di forza, le criticità e i possibili sviluppi emersi dall'indagine, è stato deciso di realizzare un modello digitalizzato dell'Earthship per mezzo della tecnologia BIM (Building Information Modeling), così da fornire all'associazione uno strumento di supporto per la progettazione circolare in grado di contenere le informazioni sull'intero ciclo di vita del manufatto e indispensabile allo scopo di dichiararne la sostenibilità di progetto.

Indice

1. Inquadramento

1.1 Contesto Internazionale	2
1.2 Contesto Nazionale	7
1.3 Economia Circolare	8
1.4 Edilizia Circolare	13

2. Earthship

2.1 Introduzione al caso studio	18
2.2 I sei principi	20
2.3 Le fasi di costruzione	25
2.4 L'Earthship in Italia	30

3. Earthship e Edilizia Circolare in Italia

3.1 Linee guida per la progettazione circolare	33
3.1.1 Principi Generali	34
3.1.2 Target group	35
3.2 Matrice di circolarità dell'Earthship	49

4. Strumenti per l'Edilizia Circolare

4.1 Building Information Modeling	54
4.1.1 Autodesk Revit	59
4.2 Visual Programming Language	61
4.2.1 Autodesk Dynamo	63

5. Earthship e Metodologia BIM

5.1 Fase contrattuale	66
5.2 Fase operativa	69
5.2.1 Caso studio	69
5.2.2 Flusso di lavoro	71
5.2.3 Condivisione del lavoro	72
5.2.4 Interoperabilità	73
5.2.5 Building Information Model	74

6. Applicazione della Metodologia BIM

6.1 3D: Modellazione	76
6.2 4D: Gestione dei tempi	85
6.3 5D: Gestione dei costi	87

7. Conclusioni

7.1 Risultati	89
7.1.1 Elaborati grafici	89
7.1.2 Abachi	90
7.1.3 Cronoprogramma	91
7.1.4 Stima dei costi	91
7.2 Sviluppi futuri	92
7.2.1 Famiglie Revit	94
7.3 Considerazioni finali	95
Allegati	97
Bibliografia	99
Dossier e Tesi	100
Sitografia	101
Filmografia e videografia	104

1. Inquadramento

Prima di descrivere e giustificare i mezzi attraverso cui raggiungere il fine, è bene che sia quest'ultimo a essere giustificato. Con l'obiettivo quindi di comprendere le motivazioni che ci spingono a parlare di edilizia circolare e di metodologia BIM, introduciamo in breve il secolo che stiamo vivendo.

1.1 Contesto Internazionale

Se dovessimo pensare alla storia della nostra civiltà suddividendola per secoli, probabilmente avremmo ancora pochi elementi per far una lista di parole chiave in descrizione del secolo che stiamo vivendo. Proviamo perciò a concentrarci solo su alcuni concetti utili alla lettura di questa tesi. Nel corso della storia vengono registrate sfide e conquiste memorabili che ci portano oggi a parlare di **quarta rivoluzione industriale**. La prima tappa dell'evoluzione viene registrata alla fine del '700 con la nascita della macchina a vapore e con la meccanizzazione della produzione. La seconda tappa, risalente al 1870 circa, è segnata dalla produzione di massa, dal crescente utilizzo dell'elettricità, dalla scoperta del petrolio come fonte energetica e dall'introduzione del motore a scoppio. La terza tappa, collocata intorno al 1970, segna la nascita dell'informatica e dell'elettronica, due degli elementi chiave che ci hanno permesso di arrivare alla quarta e ultima fase caratterizzata dal digitale e quindi dall'interconnessione tra impianti e persone. Se è vero che per alcuni

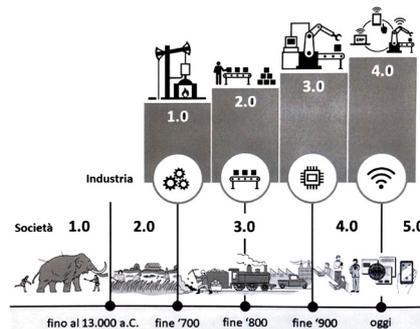


Figura 1. Rappresentazione delle rivoluzioni industriali. Meccanizzazione [1.0], produzione di massa [2.0], automazione [3.0] e fabbriche intelligenti [4.0].
Tratta da Osello, A. & Fonsati, A. & Rapetti, N. & Semeraro, F. (2019). *InfraBIM: il BIM per le infrastrutture*. p 202. Roma. Gangemi International.

la quarta rivoluzione industriale è causa di un mutamento radicale in grado di migliorare le condizioni di lavoro e la qualità della produzione, è anche vero che per altri si tratta unicamente di un mezzo verso una maggiore competitività ed efficienza. La rivoluzione consiste nel tentativo di far compenetrare mondo fisico e digitale, comprendendo i progressi nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale (IA), della robotica, dell'Internet delle Cose (IoT), della stampa 3D e di altre tecnologie. Inutile sottolineare quanto inarrestabile sia questo processo che inevitabilmente porterà al bisogno di nuove professionalità e alla scomparsa di altre. Klaus Schwab, fondatore del World Economic Forum¹ e colui che ha

¹ World Economic Forum, è un'organizzazione internazionale senza fini di lucro che ospita le più importanti personalità del panorama mondiale. Creata da Klaus Schwab nel 1971 in Svizzera, a Cologny, per discutere con i maggiori esponenti del quadro politico ed economico di quelle che sono le tematiche mondiali più urgenti, producendo infine dei rapporti di ricerca.

etichettato questo cambiamento come quarta rivoluzione industriale, ha scritto nel suo libro che *“come le rivoluzioni che l’hanno preceduta, la quarta rivoluzione industriale ha il potenziale di innalzare i livelli globali di reddito e migliorare la qualità della vita per i popoli di tutto il mondo”*^[2]. Per citare un altro concetto e arricchire il quadro descrittivo del nostro secolo parliamo adesso di cambiamento climatico e di **sviluppo sostenibile**. Il cambiamento climatico non è oggetto che nasce in questo secolo, esso dipende dall’incremento delle emissioni antropiche registrate già a partire dalla prima rivoluzione industriale e divenute preoccupanti dalla metà del secolo scorso. Il clima è l’insieme statistico delle condizioni meteorologiche registrato in un periodo esteso e poco ha a che fare con il meteo che invece consiste nella previsione meteorologica in un determinato tempo e in un determinato luogo. Il cambiamento, relativo quindi al clima e non al meteo, si riferisce all’innalzamento della temperatura terrestre, noto come surriscaldamento globale, che, come ci racconta la climatologa Elisa Palazzi nel suo libro³, ci fa pensare a una Terra con la febbre. Le cause di questo eccessivo riscaldamento hanno origini antropiche e derivano dalle emissioni di gas serra provenienti da settori di produzione dell’energia e dei trasporti, dal settore dei rifiuti, dall’allevamento, dall’agricoltura, dall’edilizia e da altre fonti. Le emissioni di gas serra, tra cui l’anidride carbonica, oltre ad avere un’origine antropica hanno anche origine naturale: è grazie a questi gas, principali attori dell’effetto serra, che è garantito lo sviluppo della vita sulla Terra. In assenza di effetto serra il calore verrebbe disperso in atmosfera garantendoci una temperatura media di circa -18°C. I gas serra quindi risultano necessari per la nostra vita ma nocivi se prodotti in quantità eccessive. La crescente componente antropica altera il quantitativo di questi gas e pertanto la capacità di trattenere parte della radiazione solare, provocando surriscaldamento. L’emissione smisurata, con conseguente innalzamento della temperatura, provoca la fusione dei ghiacciai impedendo di riflettere la radiazione solare e favorendone così l’eccessivo assorbimento. Altre conseguenze riguardano l’innalzamento del livello dei mari, la propagazione di epidemie e malattie dirette a uomo e colture, l’aumento degli eventi meteorologici estremi, come forte piovosità o siccità, la riduzione di biodiversità, la manifestazione di eventi pericolosi e l’incremento dei costi sociali ed economici necessari a garantire cure e comfort. È a cavallo di questo secolo che per la prima volta a Stoccolma, nel 1972, si tenne la prima conferenza delle Nazioni Unite sulla tutela ambientale. A seguito di tale conferenza verrà pubblicato il Rapporto Brundtland, un documento edito nel

² Fonte: SALESFORCE, *Che cos’è la quarta rivoluzione industriale?*, <https://www.salesforce.com/it/blog/2019/08/che-cosa-quarta-rivoluzione-industriale.html>.

³ Taddia, F. & Palazzi, E. (2019). *Perché la Terra ha la febbre?*. Editore Scienza.

1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo, in cui viene definita la metodologia con la quale procedere opportunamente sulla strada inarrestabile dello sviluppo: "Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri" [4]. Per monitorare i livelli di emissione raggiunti e studiare il riscaldamento globale, nel 1988 nasce l'IPCC⁵. Solo in seguito alla pubblicazione della prima valutazione effettuata, si è potuto osservare livelli di emissioni antropiche mai raggiunti precedentemente, motivo per cui si è deciso di ricorrere a strategie di adattamento e mitigazione volte a migliorare gli scenari futuri. L'IPCC, nel corso dei propri studi, ha definito alcuni di questi

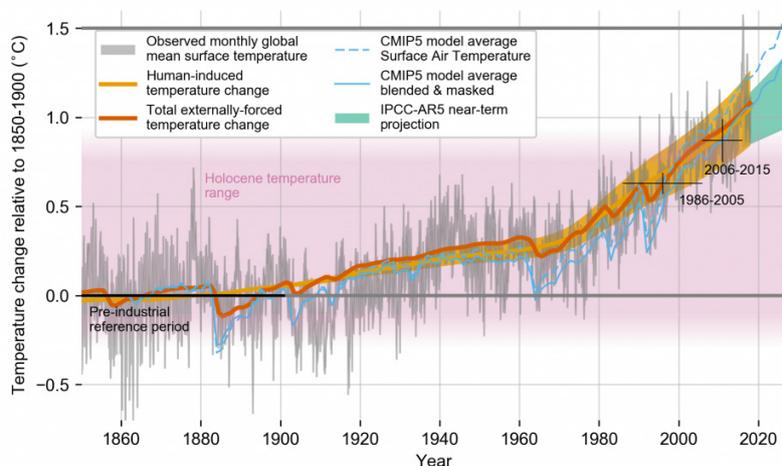


Figura 2. Grafico sull'andamento della temperatura media superficiale dal 1860 al 2020. Si registra un innalzamento della temperatura media nel corso degli anni. In giallo le emissioni antropiche, in arancione le emissioni totali, quindi antropiche e naturali. Tratta da sito web: " <https://www.ipcc.ch/>".

scenari rispetto alla concentrazione di gas effetto serra nell'aria (RCP⁶). Tali scenari vengono misurati in relazione al forzante radiativo, ad esempio "2.6", espresso in W/m^2 e in grado d'indicare l'aumento del contenuto energetico del sistema Terra con conseguente incremento della temperatura atmosferica. Tra questi scenari, dettati dalle possibili azioni future, troviamo quattro possibilità che vanno dalla più ottimistica (RCP2.6) alla più pessimistica (RCP8.5) passando per i due scenari intermedi (RCP4.5 e RCP6.0). Per gestire le azioni mondiali relative alle tematiche di salvaguardia ambientale, basandosi sul concetto di sviluppo sostenibile introdotto dal Rapporto Brundtland,

⁴ Fonte: Rapporto Brundtland, prodotto nel 1987 in seguito alla Dichiarazione di Stoccolma. A partire dai 26 principi prodotti durante la prima conferenza delle Nazioni Unite sulla tutela ambientale, si giunge con il Rapporto Commissione Brundtland alla definizione del concetto di sviluppo sostenibile, concetto cardine di tutte le successive conferenze sul clima.

⁵ IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, istituzione nata nel 1988 dall'unione dell'Organizzazione meteorologica globale (WMO) e dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP).

⁶ RCP, Representative Concentration Pathway, acronimo che indica il livello di concentrazione nell'aria di gas effetto serra.

vennero introdotte le conferenze sul clima (COP⁷) già a partire dagli

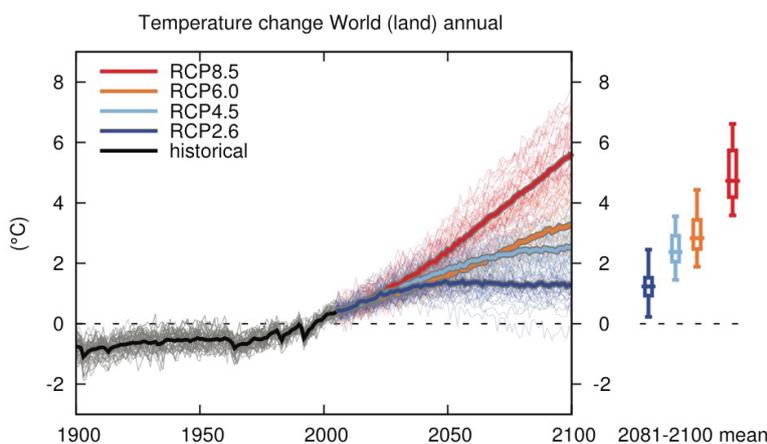


Figura 3. Grafico sui possibili scenari futuri in base della concentrazione di gas effetto serra nell'aria. Scenario ottimistico in blu, con forzante radiativo di 2.6 W/m^2 . Scenario pessimistico in rosso con forzante radiativo pari a 8.5 W/m^2 .
Tratta da sito web: " <https://www.ipcc.ch/>".

anni '90. Nel 1992, quando le Nazioni Unite si riunirono a Rio de Janeiro in occasione della prima conferenza sul clima per discutere i potenziali effetti del cambiamento climatico, venne approvato un trattato internazionale con l'intento di definire un quadro d'azione per ridurre le emissioni di gas effetto serra: questa convenzione prende il nome di United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Nel 1995 si tenne la prima COP a Berlino, nel 1996 la seconda a Ginevra, nel 1997 la terza significativa a Kyoto⁸, nel 1998 la quarta a Buenos Aires e così ogni anno fino a oggi. Ricordiamo la quindicesima COP tenuta a Copenaghen, in cui per la prima volta ci si impose di contenere l'aumento della temperatura entro i 2°C , la ventunesima COP del 2015 a Parigi, in cui venne messa per iscritto e firmata l'intenzione anticipata a Copenaghen, e in ultimo, la COP26 tenuta a Glasgow nel 2021. Riducendo l'utilizzo dei combustibili fossili, quindi preferendo ad esempio i mezzi condivisi ai mezzi a motore privati o controllando la temperatura interna nelle abitazioni o evitando gli sprechi, isolando meglio gli edifici, preferendo elettrodomestici ad alte prestazioni, scegliendo l'illuminazione a basso consumo, o ancora, optando per energia da fonti rinnovabili, evitando lo spreco di cibo, riducendo gli alimenti che prevedono un dispendio eccessivo di energia, consumando con intelligenza e responsabilità, scegliendo il riutilizzo,

⁷ COP, Conference of the Parties, acronimo che indica la riunione tenuta ogni anno sulla tutela ambientale.

⁸ COP a Kyoto, fondamentale poiché in questa sede si pongono le basi per il Protocollo di Kyoto, il primo trattato vincolante in cui viene preso l'impegno di ridurre le emissioni di gas esentando da obblighi i paesi ritenuti "non industrializzati". Progetto non andato a buon fine.

promuovendo la raccolta differenziata, salvaguardando e piantando alberi o assumendo nuovi e più sostenibili comportamenti, sarà possibile raggiungere gli obiettivi raccolti nel documento adottato nel 2015 a Parigi: l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile [Vedi Figura 4]. Grazie



Figura 4. Rappresentazione dei 17 traguardi previsti dall'Agenda 2030. Tratta da sito web: " <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>".

a questo documento, si unisce alla sfida della quarta rivoluzione industriale un'altra sfida globale indispensabile per uno sviluppo sostenibile, una sfida che oltrepassa la concezione di **crescita** economica citata da Schwab concentrandosi sul concetto più ampio di **sviluppo**, che riunisce quadro economico, sociale ed ecologico. Ai fini di questa tesi, tra gli obiettivi di sviluppo sostenibile ci soffermiamo sull'obiettivo 12, volto a garantire modelli di consumo e produzione sostenibili. A tal proposito vi è la necessità d'introdurre un nuovo modello economico che tenga conto della sfera ambientale, riducendo il quantitativo di rifiuti e le emissioni di gas durante l'intero ciclo di vita dei prodotti: si osserva il passaggio dall'economia lineare all'economia circolare.

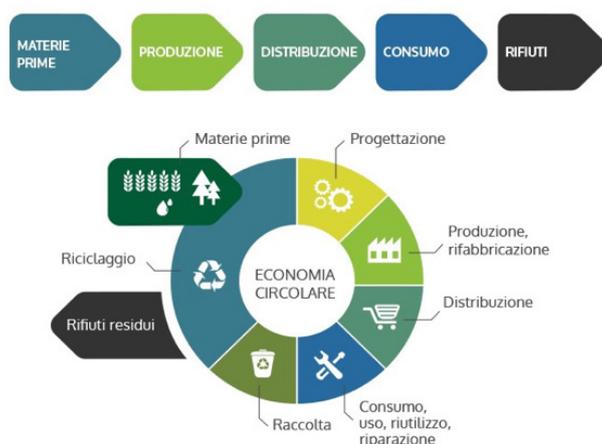


Figura 5. Rappresentazione del passaggio da economia lineare (sopra) a circolare (sotto). Tratta da sito web: " <https://www.gazzettadinapoli.it/ambiente/la-terra-invoca-un-rapido-passaggio-dalleconomia-lineare-a-quella-circolare/>".

1.2 Contesto Nazionale

Sulla base della situazione globale ogni nazione ha previsto una propria strategia per favorire lo sviluppo sostenibile e raggiungere i 169 traguardi proposti dall'Agenda entro l'anno 2030. Su territorio italiano, per favorire la diffusione a livello sociale e istituzionale degli obiettivi di sviluppo sostenibile, nel 2016, dalla collaborazione tra la Fondazione Unipolis e l'Università di Roma, è nata l'Alleanza italiana per lo sviluppo sostenibile (ASviS). Tra gli obiettivi di quest'alleanza vi è quello di contribuire alla definizione della strategia per il conseguimento dei traguardi nelle cinque macro aree d'intervento individuate in Italia: la rigenerazione urbana, la mobilità sostenibile, la transizione energetica, la qualità della vita e l'economia circolare. L'ASviS annualmente produce un'analisi di quello che è lo stato di avanzamento dei provvedimenti presi dal Governo Italiano, con il compito di proporre strategie qualora venissero rispecchiate disfunzionalità. In seguito al rapporto presentato da quest'alleanza, è possibile affermare che in Italia è con la Legge di Bilancio⁹ del 2017 che si compie il primo passo verso il raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda 2030. Al fine di creare un modello di consumo e di produzione sostenibile, viene utilizzato in Italia uno strumento di coordinamento che prende il nome di Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile¹⁰ (SNSvS). Questo strumento è fondamentale nel cambio di paradigma da economia lineare a economia circolare. Il provvedimento si basa su cinque aree d'intervento, che corrispondono alle 5P dello sviluppo sostenibile: Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership.



Figura 6. Rappresentazione delle cinque aree di intervento presentate nel provvedimento SNSvS e corrispondenti alle 5 P dello sviluppo sostenibile: Persone, Prosperità, Pace, Partnership, Pianeta.

Tratta da Ires Piemonte (2020). "10 Numeri per conoscere le strategie per lo sviluppo sostenibile in Piemonte".

⁹ Legge di bilancio 2017, legge in cui, secondo gli indicatori ASviS, vengono registrati miglioramenti per nove dei SDGs (Sustainable Development Goals), un peggioramento per quattro di essi e staticità per i restanti quattro.

¹⁰ Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile (SNSvS), strumento di coordinamento approvato nel 2017 e aggiornato parallelamente al contenuto di documenti programmatici già esistenti come il Programma Nazionale di Riforma (PNR), in cui vengono illustrate le politiche adottate dal Governo, e il Documento di Economia e Finanza (DEF), in cui vengono elencate le politiche finanziarie e economiche scelte dal Governo.

1.3 Economia Circolare

L'economia circolare nasce da un dibattito tra economia ambientale ed ecologica. L'economia ambientale studia i meccanismi attraverso cui coniugare economia e ambiente proponendo un approccio che preveda la coesistenza di crescita economica e di uso sostenibile delle risorse, sostenendo a priori l'idea di un fallimento del mercato da risolvere attraverso nuove tecnologie, sanzioni e permessi. Sempre l'economia ambientale sostiene il pensiero secondo cui l'obiettivo diventa quello di promuovere un cambiamento progettuale e tecnologico mirato all'efficienza energetica al fine di minimizzare lo spreco, riducendo il consumo di materiali ed energia, il capitale naturale¹¹, e non compromettendo i meccanismi dell'economia neoclassica. D'altro canto l'economia ecologica rifiuta la struttura dell'economia attuale accusando l'economia neoclassica e ambientale di non saper distinguere tra crescita e sviluppo e proponendo pertanto di modificare direttamente i meccanismi economici tenendo conto della limitatezza delle risorse. Non sono solo questi due gli approcci, il dibattito si spinge anche verso posizioni più radicali: sono presenti coloro che scelgono di trascurare del tutto la sfera ambientale e allo stesso tempo coloro che non ammettono una crescita economica, professando la decrescita con l'obiettivo di riequilibrare carico antropico e capitale naturale (teoria di Serge Latouche¹²). A partire da queste quattro posizioni possiamo introdurre effettivamente il concetto di economia circolare, da collocarsi vicino alla visione degli economisti ambientali. Distribuendo queste ideologie in una scala di sostenibilità che va da "molto debole", se si prevede uno sfruttamento delle risorse trascurando la sfera ambientale, a "molto forte", quando invece ci si orienta alla preservazione sostenendo la decrescita economica, ci rendiamo conto del fatto che l'economia ambientale, e con essa quella circolare, si colloca alla voce "sostenibilità debole", caratterizzata quindi dal consenso a garantire una crescita economica nel rispetto dell'ambiente, a differenza dell'economia ecologica, posizionata invece alla voce "sostenibilità forte", quindi a sostegno di una crescita economica nulla utile alla salvaguardia delle risorse. Sulla scia dei concetti caratterizzanti la sostenibilità debole, categoria alla quale è quindi attribuibile l'economia circolare, si ha l'intenzione di trovare un nuovo modello economico in grado di permettere la crescita economica nel rispetto della sfera ambientale. Solo in seguito alla pubblicazione del Rapporto Brundtland, avvenuta nel 1987, è nel 2012 che vengono definite le linee guida della *green economy*,

¹¹ Capitale naturale, si tratta di tutte le risorse di cui disponiamo naturalmente come terreni fertili, mari produttivi, acque potabili, aria pura, impollinazione, prevenzione delle alluvioni, regolazione del clima, etc.

¹² Serge Latouche, economista e filosofo francese, promotore dell'idea di decrescita. Tra le sue opere tradotte troviamo *Breve storia della decrescita*, in cui vengono sintetizzate le teorie contro la società dello sviluppo, intendendo quest'ultimo come efficacia economica.

un'economia che ha come obiettivo quello di non ostacolare la crescita economica, la *green growth*, ma bensì di ridurre le emissioni di carbonio e di aumentare l'efficienza energetica creando nuovi posti di lavoro e prevenendo la perdita di biodiversità. L'economia circolare è quindi un sottoinsieme della *green economy* che presenta spiccato interesse per la riduzione e per lo smaltimento dei rifiuti. Nel 2010 nasce la Ellen MacArthur Foundation che, grazie all'appoggio di molte aziende, prova a delineare linee guida per l'applicazione dei principi di circolarità alle pratiche industriali. Per quest'associazione, riconosciuta a livello internazionale, l'economia circolare «è un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati a essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera»^[13]. Questa fondazione basa i suoi principi su molte teorie, tra



Figura 7. Rappresentazione del flusso di economia circolare per tutto il ciclo di vita del prodotto.

Tratta da sito web: "<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>".

cui quella "Cradle to Cradle"¹⁴, nata a partire da una pubblicazione nel 2000 del libro di Michael Braungart e William McDonough intitolato "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things" in cui si afferma che: "la durabilità non viene più misurata in base alla vita utile del prodotto ma in base alle vite utili che il prodotto può avere". L'economia circolare, adottata dalla Commissione Europea come paradigma da integrare per uno sviluppo sostenibile, cerca nuove opportunità commerciali nella reintroduzione dei rifiuti nella catena del valore, trasformando i rifiuti in materie prime seconde. Questo processo, come qualcuno pensa, potrebbe incentivare piuttosto che diminuire il consumo usa e getta,

¹³ Fonte: SFRIDOO, *Cos'è l'Economia Circolare*, <https://www.sfridoo.com/economia-circolare>.

¹⁴ "Cradle to Cradle" (C2C), filosofia produttiva che caratterizza l'economia circolare e che tradotta vorrebbe dire "dalla culla alla culla", proprio ad indicare la contrapposizione alla filosofia "Cradle to Grave", "dalla culla alla tomba", propria invece dell'economia lineare dell'usa e getta. La filosofia C2C definisce l'importanza e la necessità di valutare il ciclo di vita di un prodotto durante l'intera filiera, includendo le fasi di fine vita utile.

trovando nel riciclaggio la giustificazione per un aumento di produzione e consumo. Per far sì di quantificare la sostenibilità della metodologia circolare risulta perciò essenziale procedere ad analisi "life cycle", per individuare i vantaggi economici e ambientali durante l'intera filiera. Il concetto di ciclo di vita potenzia perciò l'innovativo paradigma circolare e permette di valutare a priori quale strada intraprendere in termini di benefici, sia economici che ambientali. Si osserva quindi in questo secolo il passaggio da un modello di business lineare, basato sul paradigma produco-consumo-scarto, a un modello circolare in cui lo scarto diventa risorsa, ripensando così il modo di consumare, produrre e innovare. L'economia circolare è un modello di produzione e consumo che conferisce nuova vita al rifiuto trasformandolo in risorsa ad alto valore aggiunto. Si tratta di un modello che ha come obiettivo il profitto ma anche il progresso sociale e la tutela ambientale. L'obiettivo è ridurre l'utilizzo di materie prime vergini introducendo il concetto di materia prima seconda (MPS¹⁵), motivo per cui sarà fondamentale nel prossimo futuro ideare e investire in sistemi più efficienti e meno impattanti di riparazione e rigenerazione dei beni. Tra i processi da sottoporre al rifiuto troviamo il *downcycling*, per dar vita a materiali di qualità inferiore, l'*upcycling*, attraverso cui è possibile conferire valore a un rifiuto creando materiali e prodotti di maggiore qualità, per mezzo ad esempio un particolare design, o semplicemente il *recycling*, pratica in cui il prodotto rimane della stessa qualità di partenza. Tra i capisaldi



Figura 8. Rappresentazione dei tre possibili processi a cui poter sottoporre un rifiuto: Recycling, Downcycling e Upcycling.
 Tratta da sito web: "<https://veracura.network/recycling-upcycling-downcycling/>".

del pensiero circolare c'è un'attenzione particolare ai materiali e alla loro provenienza, al design, ai processi produttivi, alla disassemblabilità, modularità, riciclabilità, riparabilità, al basso utilizzo di sostanze pericolose, al riutilizzo, alla produzione di ciò che può avere una seconda vita, ai beni condivisi e ai beni come servizi. Per favorire in tutte le sue componenti questa transizione, possono essere adottati vari strumenti regolatori, economici o di gestione ambientale,

¹⁵ Materia prima seconda, MPS, sarebbe il nome per definire il rifiuto reinserito in un ciclo di vita utile. Oggi al posto di MPS viene introdotto il concetto di "Cessazione della qualifica di rifiuto". Esso indica il rifiuto quando viene sottoposto a un'operazione di recupero, riciclaggio e riutilizzo, nel rispetto di criteri specifici, assumendo valore e il ruolo di materia prima seconda [Art. 184-ter del DLgs 152/2006].

come restrizioni e divieti oppure tasse e certificazioni volontarie, oltre ovviamente a un'azione di sensibilizzazione che provochi un cambiamento culturale radicale. La riparazione, quindi l'intenzione di utilizzare al massimo le risorse di cui già disponiamo, comporta un gesto di fiducia nei confronti del consumatore, o cittadino, il quale indirettamente si assume più responsabilità e più potere decisionale. Si ha il passaggio da un'economia dalla *culla alla tomba* a un'economia *dalla culla alla culla*, provocando così la cessazione della qualifica di rifiuto, individuando nuovi flussi da sottoporre a processi di *End of Waste*¹⁶ e diminuendo la dipendenza dalle materie prime derivanti da altri paesi. I vantaggi dell'economia circolare, come precedentemente accennato, mettono d'accordo vari aspetti di carattere economico, attraverso la crescita economica e l'impulso all'innovazione, aspetti di carattere ambientale, tramite la riduzione di emissioni nocive provocate dall'estrazione di materie prime e dalla loro lavorazione, e aspetti di carattere sociale, mediante la consapevolezza e il rispetto. L'economia circolare provocherà inoltre un incremento dell'occupazione, dovuto alla necessità di nuove professionalità competenti. Molte delle nuove competenze deriveranno dal nuovo approccio all'industria 4.0, la quale offrirà strumenti necessari alla diffusione dei principi della circolarità. I rifiuti hanno un impatto sull'economia, sul clima, sull'ambiente ma anche sulla salute dell'uomo. Adottando una visione olistica, ci rendiamo conto dell'importanza di trattare il tema dei rifiuti: una discarica mal progettata causerebbe la contaminazione di terreni e falde acquifere portando a conseguenze negative anche per la salute dell'uomo e degli animali. Sulla scia di queste considerazioni, a livello normativo sono state molte le disposizioni adottate dalla Comunità Europea e poi introdotte anche in contesto nazionale tramite leggi dello stato. La nuova legislazione europea "Pacchetto Economia Circolare" è entrata in vigore il 4 luglio 2018, ed è stata recepita dai paesi membri entro il 5 luglio 2020. Essa è composta da quattro direttive che vanno a modificare alcune di quelle presentate nel 2015, incrementando anche gli obiettivi futuri. "Entro il 2025 si dovrà raggiungere il riciclo di almeno il 55% dei rifiuti urbani (60% entro il 2030 e 65% entro il 2035) e si dovrà limitare lo smaltimento in discarica (tetto massimo del 10% entro il 2035); entro il 2025 dovrà essere riciclato il 65% degli imballaggi e il 70% entro il 2030; i rifiuti tessili e i rifiuti pericolosi delle famiglie dovranno essere raccolti separatamente dal 2025; entro il 2024 obbligo per tutti gli stati membri d'introdurre la raccolta separata dei

¹⁶ *End of Waste*, si tratta del processo a cui viene sottoposto il rifiuto nell'atto di cessazione della qualifica di rifiuto, quindi nel momento in cui esso cessa di essere rifiuto diventando risorsa.

rifiuti organici e/o il riciclaggio a casa attraverso l'auto compostaggio; dovrà essere introdotta una norma per facilitare la donazione di cibo in eccesso e ridurre le eccedenze e gli sprechi alimentari in ogni fase della filiera produttiva alimentare monitorando il fenomeno con i suoi miglioramenti". In Italia è attraverso il Collegato Ambientale¹⁷ (legge 28 dicembre 2015, n.221) che viene promossa la *green economy*. È attraverso questo disegno di legge, intitolato "Green New Deal e transizione ecologica del Paese", che vengono monitorate le valutazioni di impatto ambientale e di gestione dei rifiuti, promuovendo lo sviluppo sostenibile e favorendo il riutilizzo e il riciclaggio. Sono molti i settori interessati a questo cambio di paradigma, dal tessile all'alimentare, dal tecnologico all'industriale, fino ad arrivare al settore edilizio, che ricopre il 34,8% dei rifiuti da costruzione e demolizione¹⁸ prodotti in Europa nell'anno 2016 [Fonte: Eurostat] e il 44,8% nell'anno 2018, escludendo i rifiuti pericolosi [Fonte: Ispra]. Nel 2019 il settore edilizio in Italia sembrerebbe aver ricoperto il 43,1% dei rifiuti speciali prodotti [Fonte: GBC Italia]. Oltre alla produzione di rifiuti, di massima importanza è il quantitativo di energia impiegata¹⁹.

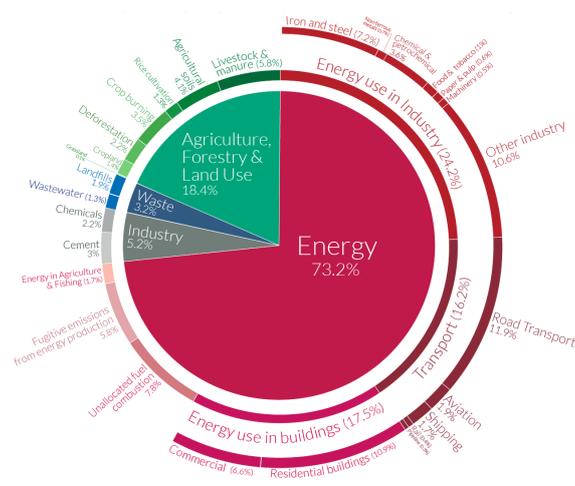


Figura 9. Diagramma relativo all'anno 2016 e riguardante il significativo dispendio di energia durante il processo edilizio. Tratta da sito web: "<https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>".

Nell'anno 2016 è stata registrato un quantitativo di energia impiegato nel settore edilizio pari al 17,5% [Fonte: Ourworldindata]. Per ridurre quindi l'impatto della produzione dei rifiuti da C&D e il quantitativo di energia impiegata, introduciamo il concetto di edilizia circolare.

¹⁷ Collegato Ambientale, disegno di legge approvato al fine di promuovere la *green economy* su territorio italiano. Le tematiche affrontate vanno dalla mobilità sostenibile, alla valutazione di impatto, dagli appalti verdi alla gestione dei rifiuti, e ancora, dalla *blue economy* alla prevenzione del dissesto idrogeologico.

¹⁸ Rifiuti da C&D, costruzione e demolizione. Rifiuti derivanti dal processo edilizio. Da fonte Eurostat è possibile constatare come nell'anno 2016 questa tipologia di rifiuti ricoprì la più alta percentuale rispetto ad altri settori [Fonte: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en].

¹⁹ Energia impiegata nel processo edilizio impattante per il 17,5% rispetto ad altri settori, 10,9% per gli edifici residenziali e 6,6% per quelli commerciali [Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>].

1.4 Edilizia Circolare

Con il termine edilizia circolare viene introdotto un nuovo approccio al mondo delle costruzioni. Con l'obiettivo di ridurre i rifiuti da costruzione e demolizione, la progettazione si orienta verso progetti sperimentali che pongono la sostenibilità come primo marchio di qualità. Il concetto di edilizia circolare è applicato a differenti scale: alla scala urbana, alla scala dell'edificio e alla scala del singolo prodotto o materiale. Le modalità con cui si manifesta l'approccio circolare prevedono forme di reimpiego/riuso, di riciclo²⁰ o di condivisione. Gli approcci si distinguono in base alla tipologia d'intervento. Per le progettazioni del nuovo, l'approccio è orientato alla realizzazione di edifici facilmente disassemblabili, durevoli e flessibili, mentre, per la progettazione dell'esistente, le pratiche si orientano alla demolizione selettiva o alla riqualificazione. Gli strumenti a supporto della circolarità edilizia sono ancora oggi in fase di definizione e non molti sembrerebbero essere gli esperti nel settore. Grazie agli strumenti della quarta rivoluzione industriale²¹ sarà possibile monitorare e gestire i processi dell'edilizia circolare, garantendo uno sviluppo sostenibile. Oltre però al bisogno di strumenti e figure professionali competenti, c'è necessità di standard e di regole di mercato per far sì che la circolarità venga applicata. Oggi la materia prima seconda utilizzata nel mondo delle costruzioni proviene da settori differenti a causa di frequente mancanza di progettazione del disassemblaggio e di trasparenza delle informazioni riguardanti le componenti edilizie. Come primo passo per promuovere questo nuovo approccio alla progettazione, vengono introdotti dei protocolli di certificazione utili a guidare le varie fasi di realizzazione dell'opera, tenendo conto della trasparenza delle informazioni durante l'intera filiera e nell'ottica di garantire più vite utili a prodotti e materiali. Molti sono gli strumenti adottati nel panorama internazionale per quantizzare e monitorare l'impatto ambientale di un materiale, un prodotto o un manufatto, nel corso del suo intero ciclo di vita. Tra gli strumenti più utilizzati troviamo il *Life Cycle Assessment*, individuato con l'acronimo LCA, e necessario al raggiungimento dei requisiti previsti al fine della certificazione ambientale. L'analisi LCA permette la tracciabilità delle informazioni utili nel processo di circolarità. Le certificazioni ambientali riferite ai materiali o ai prodotti vengono suddivise in tre categorie: la prima, normata dalla ISO 14024, è su base volontaria, prevede una verifica da terze parti, è multi criterio e prevede il marchio a soglia; la seconda, normata dalla ISO 14021, è su base volontaria, deve esser

²⁰ Reimpiego, indica l'atto di dare un nuovo scopo a un oggetto che sia differente da quello originario, senza però che subisca modifiche. Riuso, termine che si usa quando lo scopo che si vuole dare all'oggetto di scarto è quello originario. Riciclo, atto che prevede la trasformazione del rifiuto in materiale secondario [Standard BS 8887 2:2009 (2009)].

²¹ BIM, Building Information Modeling, metodologia progettuale innovativa e fondamentale nel processo di definizione della sostenibilità di progetto.

trasparente e documentata ma non prevede verifiche e certificazioni da terze parti; la terza, normata dalla ISO 14025, è su base volontaria, è basata sull'analisi LCA, prevede la verifica da terze parti, è priva di marchio a soglia e rilascia documenti tecnico-informatici. Nella prima tipologia collochiamo le certificazioni come Ecolabel o FSC®, nella seconda Recycle o Compostable e nella terza la certificazione EPD, che fa uso dello strumento LCA. Per quanto riguarda la valutazione e certificazione ambientale degli edifici, ricordiamo tra le più conosciute la certificazione inglese BREEAM, l'americana LEED, l'internazionale GBTool/SBTool, l'europea Level(s) e il Protocollo italiano ITACA. La circolarità nell'edilizia prevede l'attenzione per ogni aspetto della progettazione, dal reperimento delle risorse, alla fase di dismissione dell'edificio, non tralasciando le fasi intermedie di realizzazione, gestione e manutenzione. L'obiettivo rimane quello di minimizzare i rifiuti per ridurre l'impatto ambientale, conferendo nuovo valore alla materia. L'edificio diventa luogo per lo stoccaggio temporaneo dei materiali, fin quando essi verranno poi recuperati e riutilizzati. Oltre alla definizione di un quadro normativo, tra le azioni chiave collochiamo anche la necessità d'implementare strumenti di supporto alla definizione dei flussi e alla creazione di piattaforme in grado di scambiare informazioni riguardanti il prodotto/materiale o l'edificio stesso. È responsabilità del progettista quella di adottare la migliore strategia progettuale, servendosi degli strumenti più aggiornati e scegliendo materiali che abbiano valori minimi di *Embodied Carbon* ed *Embodied Energy*²². Altra scelta responsabile sarebbe quella di scegliere materiali che siano provenienti dalla stessa o da un'altra filiera, quindi promuovendo il reimpiego, il riuso e il riciclo. Tra gli esempi di edilizia circolare citiamo il progetto italiano Green Pea di ACC, Cristiana Catino e di Negozio Blu Architetti Associati. Inaugurato a dicembre 2020, il Green Pea si presenta



Figura 10. Foto del Green Pea a Torino nel 2020.
Tratta da sito web: "<https://www.archdaily.com/955542/green-pea-retail-park-acc-naturale-architettura-plus-negozio-blu-architetti>".

²² *Embodied Carbon* (EC) e *Embodied Energy* (EE), indicatori di sostenibilità che definiscono rispettivamente l'emissione di CO₂ e l'energia incorporata, quindi impiegata durante tutte le fasi del ciclo di vita.

come un edificio NZEB²³, a basso impatto ambientale. Un progetto che si colloca nell'ambito della riqualificazione dell'ex area industriale Carpano al Lingotto, a Torino. Edificio interamente progettato in un'ottica di circolarità. Legno e acciaio sono i materiali principali di cui è composto, essi hanno permesso la quasi completa costruzione a secco, favorendo l'eventuale disassemblaggio a fine vita. Il legno sembrerebbe provenire dalle foreste delle valli bellunesi, distrutte da eventi naturali nel 2018, e gran parte dell'acciaio da carpenterie metalliche. Prestandosi i materiali e l'edificio stesso al riuso e al riciclo, possiamo definire il Green Pea come edificio circolare. Oggi l'edificio ospita il Green Retail Park finanziato dall'imprenditore Oscar Farinetti. Un altro progetto, realizzato a Londra in occasione del London Design Festival del 2016, è chiamato the Circular Building ed è



Figura 11. Foto di The Circular Building, progetto realizzato a Londra nel 2016.
Tratta da sito web: "<https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>".

progettato da Arup Associates. Si tratta del primo prototipo realizzato su territorio inglese interamente basato sui principi di edilizia circolare. Tutte le componenti devono essere implementate e utilizzate al massimo delle loro possibilità, vengono utilizzati moduli prefabbricati smontabili in materiale legnoso proveniente da fonti sostenibili, introdotte nuove tecnologie tra cui pareti costruite utilizzando la tecnologia SIP²⁴, vengono posizionati sensori che permettano di avere controllo diretto sui sistemi, utilizzate bottiglie di plastica per la realizzazione di pareti acustiche e inseriti Qr Code di tracciamento su componenti e materiali. Il tutto in otto settimane di progettazione e due di costruzione. Un altro esempio, noto modello di circolarità e caso studio che diverrà oggetto di questo lavoro di tesi, è l'Earthship. L'Earthship, anche conosciuta come "casa di rifiuti", è un modulo abitativo sperimentale caratterizzato dalla straordinarietà di vedere riunite in un solo progetto

²³ NZEB, Nearly Zero Energy Building, ovvero edifici ad alta efficienza energetica che hanno come obiettivo il risparmio energetico e la sostenibilità. Essi sono progettati sulle basi della bioclimatica e vengono progettati nell'ottica di utilizzare fonti rinnovabili, riducendo la dipendenza da fonti fossili del 20% secondo direttiva europea.

²⁴ Tecnologia SIP (Structural Insulated Panel), si tratta di un sistema industrializzato per la costruzione di edifici in legno. Viene assemblato in sito di progetto, è ad alte prestazioni energetiche e garantisce sicurezza sismica. Costituito da due lastre di OSB/3, pannelli a scaglie di legno orientate, irrigidite da elementi portanti in legno e con interposto EPS. Con aggiunta eventuale di cappotto esterno, controparete e finitura interna.

scelte progettuali in grado di rispondere a molti dei traguardi previsti dall'Agenda 2030, pur trattandosi di un modulo nato negli anni '70. Con l'Earthship viene affrontata la macro area d'intervento riguardante l'economia circolare, la macro area relativa alla transazione energetica e quella relativa alla qualità della vita. Pur affrontando nei capitoli successivi l'argomento nei suoi dettagli, anticipiamo di seguito alcuni esempi di progetti Earthship esistenti. Il primo prototipo prende il nome di Phoenix Earthship ed è stato ideato dall'architetto Michael Reynolds



Figura 12. Foto di Phoenix Earthship, ideata da Michael Reynolds.
Tratta da sito web: "<https://www.earthshipglobal.com/>".

in Taos, New Mexico. Si tratta di uno dei primi prototipi realizzati, esso ha una superficie di circa 493 m² disposta secondo uno schema a "U"²⁵. Un terzo della superficie è dedicata alla produzione di cibo, grazie alla presenza di una serra interna esposta alla radiazione solare. Ha tre camere da letto, due bagni e dal 2006 è stata messa a disposizione per dare la possibilità a persone da tutto il mondo di visitarla e pernottarci (visibile anche su Airbnb). Un altro prototipo è intitolato Simple Survival Earthship ed è stato realizzato in Repubblica Ceca e ad Haiti, in



Figura 13. Foto di Simple Survival Earthship, ideata da Michael Reynolds nel 2010.
Tratta da "Booklet", Earthship Bioteecture.

seguito al devastante terremoto del 2010. Partendo dal prototipo Global Earthship, il più diffuso, andiamo ad approfondire nei capitoli successivi i motivi per cui questo modulo abitativo viene riconosciuto globalmente come modello di sostenibilità, indagandone l'effettiva circolarità.

²⁵ Lo schema a "U" è uno dei tanti schemi di design dell'Earthship. Esistono schemi più rettilinei definiti "nest module", quelli più circolari definiti "hut module" (categoria alla quale appartiene anche il modello a "U") e schemi denominati "flower model" o "windship model". Lo schema Earthship dipende dal sito di progetto e dagli spazi che si voglio progettare.

2. Earthship

Introduciamo in questo capitolo il caso studio a partire dal quale indagheremo i principi e gli strumenti di edilizia circolare. Il progetto Earthship viene realizzato a partire da rifiuti di origine industriale, motivo per cui è noto come modello di economia circolare.

2.1 Introduzione al caso studio

L'Earthship è una tipologia edilizia nata dalla mente dell'architetto statunitense Michael Reynolds in Taos, New Mexico, a partire dal 1969. Come si evince dal nome, si tratta di una "navicella terrestre" ideata con la volontà di dare un nuovo volto all'architettura nel pieno rispetto del pianeta. L'idea è nata dal bisogno di smaltire i rifiuti dispersi nel deserto del Taos. È costruita con materie prime naturali, quali terra, legno, paglia, sabbia, e con materiali provenienti da rifiuti di origine industriale come bottiglie di plastica, di vetro, lattine di alluminio o pneumatici fuori uso. Oltre a esser costituito da elementi di reimpiego, riuso e riciclo, una delle caratteristiche di questo modulo abitativo sperimentale riguarda il fatto che è autonomo dal punto di vista energetico, idrico e alimentare. L'Earthship, in quanto navicella ideata sui concetti della bioclimatica, si comporta come un sistema naturale e, come tale, è indipendente e non collegata ai sistemi esterni: è orientata verso la luce solare e dispone di collettori, motivo per cui non ha bisogno di sistemi di riscaldamento e di energia; produce nutrimento per mezzo della serra collocata all'interno, grazie alla quale si nutre e nutre chi la abita; è progettata per avere un ciclo di vita duraturo; è in grado di accumulare e riutilizzare più volte l'acqua piovana e soprattutto offre la possibilità di non dover dipendere dal sistema monetario. Alla ricerca di un nuovo modo di fare architettura nel rispetto dell'ambiente, l'architetto Michael Reynolds, oltre ad avviare le sperimentazioni con le Earthship, utilizza il termine "Biotecture" per definire al meglio la sua filosofia e l'associazione che ne nascerà, per l'appunto chiamata Earthship Biotecture. Viste le potenzialità dell'Earthship, Michael Reynolds decide di mettersi a disposizione per la ricostruzione in tempi brevi di abitazioni in zone colpite da tsunami, terremoti e tifoni: in Indonesia e in India nel 2004, ad Haiti nel 2010, nelle Filippine nel 2014 e a Puerto Rico nel 2018. L'Earthship, a differenza delle abitazioni emergenziali in latta, conferisce comfort interno ed è facilmente realizzabile. Reynolds e il gruppo Earthship Biotecture, con l'aiuto di volontari locali appartenenti alle popolazioni colpite da eventi estremi, hanno realizzato una Earthship in meno di quattro giorni. Oltre al dato sulla rapidità costruttiva, questo è stato un vero caso di architettura di partecipazione, per citare Giancarlo de Carlo²⁶. Trattandosi di situazioni d'emergenza, vantaggiosa sembrò essere la possibilità di rendere nulli i costi di acqua, luce e gas, oltre alla possibilità di poter usufruire della serra interna per la produzione di cibo: tutti elementi che potrebbero far

²⁶ Giancarlo de Carlo, architetto, urbanista, teorico dell'architettura e accademico italiano che scrisse nel 2013 *L'architettura della partecipazione*, a cura di Sara Marini, Macerata, Quodlibet.

pensare a un vero caso di architettura di sopravvivenza, come direbbe l'architetto Yona Friedman²⁷. Chiunque può partecipare alla creazione di una Earthship, dopo ovviamente aver capito come fare frequentando le *Academy* organizzate dall'architetto e dalla sua associazione. Le



Figura 14. Logo dell'Academy tenuta presso l'associazione Earthship Biotecture. Tratta da sito web: "<https://www.earthshipglobal.com/>".

*Academy*²⁸ corrispondono a una vera e propria scuola di eco-costruzione composta da momenti teorici e da momenti pratici. La formazione riguarda l'aspetto tecnico ma anche filosofico, vengono approfondite tematiche riguardanti il design, il metodo di costruzione, le tecniche costruttive, i sistemi impiantistici e molto altro. Il modello Earthship più diffuso e studiato è quello che prende il nome di Global Model, variabile in base al sito di progetto ma che conserva sempre i principi su cui sono basate tutte le Earthship. Esistono molti design di Earthship, da quelle allungate, chiamate "nest module", a quelle più circolari definite "hut module", fino ad arrivare alle "U module", non dimenticando le "flower", le "windship" e tutte le possibili unioni tra queste. Il modello

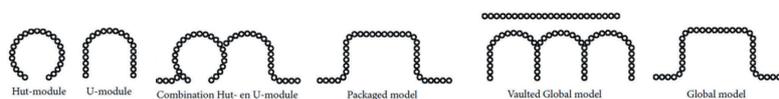


Figura 15. Differenti disposizioni degli pneumatici nell'Earthship. Tratta dalla tesi: "Applicazione del concept 'Earthship' in Italia" di Debora Tantillo.

globale segue un design a "U", nella cui apertura sorgerà la serra. Nel corso degli anni son state molte le modifiche e ancora oggi l'Earthship rimane un modulo sperimentale in continua trasformazione. Un tempo la serra era collocata direttamente a contatto con gli ambienti interni, oggi, per questioni tecniche e spaziali, essa è stata spostata interponendo una zona buffer tra i luoghi interni e la serra. Anche le travi in copertura hanno subito modifiche, un tempo erano orientate est-ovest, oggi vengono poste in direzione nord-sud. Oggi il modello Earthship è diffuso in tutto il mondo, anche in zone vicine come Spagna, Francia, Portogallo, Regno Unito, Belgio, Germania, Repubblica Ceca, Estonia e Svezia. Da poco è nata l'intenzione di costruirne una anche in Italia.

²⁷ Yona Friedman, architetto, designer e urbanista ungherese che scrisse nel 2009 *L'architettura di sopravvivenza*, Torino, Bollati Boringhieri.

²⁸ Scuola di eco-costruzione del tutto indipendente dal sistema nazionale ed internazionale ma che da pochi anni collabora con l'Università del Colorado. L'Academy ha un costo e rilascia una certificazione. L'obiettivo è quello di imparare le tecniche di costruzione sostenibile grazie al supporto di insegnanti esperti nella costruzione delle Earthship, idraulici, elettricisti e specialisti di impianti.

2.2 I sei principi

Un modulo abitativo viene definito Earthship, nonostante le molte configurazioni spaziali viste nel capitolo precedente, se rispetta sei principi definiti dall'associazione Earthship Biotecture a partire dai sei bisogni primari per l'uomo: il bisogno riguardante la gestione dei rifiuti, il bisogno di avere un riparo, il bisogno di energia, di acqua pulita e potabile, di cibo e di saper trattare le acque reflue.



Figura 16. Raffigurazione dei sei bisogno primari per l'uomo.
Tratta da sito web: "<https://www.earthshipglobal.com/>".

I sei principi di progettazione che una Earthship deve rispettare sono:

- Costruire con materiali naturali e di recupero
- Garantire riscaldamento/raffreddamento attraverso la bioclimatica
- Produrre energia da fonti rinnovabili
- Raccogliere e riutilizzare l'acqua piovana
- Trattare le acque grigie e nere
- Produrre cibo

Oltre a risolvere i bisogni primari, l'Earthship si pone l'obiettivo di mitigare l'impatto dell'uomo sul pianeta andando a ridurre le emissioni e soddisfacendo così anche i bisogni del pianeta Terra, oggi alle prese con un cambiamento climatico in grado di modificarlo radicalmente. Il primo principio, relativo alla costruzione con materiali naturali e di recupero, viene soddisfatto per mezzo dell'utilizzo di materiali naturali quali terra, legno, paglia, sabbia, eco-cemento²⁹, e con materiali provenienti da rifiuti di origine industriale come bottiglie di plastica, di vetro o lattine di alluminio, per quanto riguarda le partizioni interne e le decorazioni, e pneumatici fuori uso provenienti dal settore automobilistico per erigere invece il muro portante esterno del modulo abitativo. L'inarrestabile produzione di pneumatici garantisce la loro reperibilità a lungo termine e questi si prestano bene come mattoni quando riempiti con terra battuta. Al fine di rispondere al secondo principio, ovvero garantire riscaldamento e raffreddamento non facendo uso di combustibili fossili o legna, l'Earthship viene interamente progettata per trattenere

²⁹ Eco-cemento, ideato da Tasmanian John Harrison. Non strutturale, sostituisce 2/3 della quantità di cemento portland comunemente utilizzata con pozzolana e magnesio.



Figura 17. Fotografie in cui è visibile il muro portante (a sinistra) fatto di pneumatici pieni di terra battuta e una partizione interna (a destra) costituita da impasto di terra, eco-cemento e bottiglie di vetro.
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

il calore, sfruttando i presupposti della massa termica e del guadagno solare, rilasciando poi il calore tramite tubi di aerazione e bocchette. L'inerzia termica³⁰ è garantita dall'utilizzo dei mattoni di pneumatici e terra battuta che, seppur non tradizionali, soddisfano i requisiti richiesti quando sovrapposti uno sopra l'altro a formare la muratura portante.



Figura 18. Fotografie in cui è visibile la serra utile a ottimizzare il guadagno solare (a sinistra) e i tubi di aerazione per il raffrescamento (a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

Il guadagno solare deriva invece dalla progettazione della serra esposta a sud (nord nell'emisfero australe), in grado di comportarsi come un vero e proprio impianto necessario a catturare calore e a farlo defluire attivando moti convettivi strategici. La temperatura interna a un Earthship risulta essere intorno ai 20°C anche in condizioni come quelle registrate a Taos, in New Mexico, a un'altitudine di 2000 m s.l.m, con temperature esterne estive di 40°C e invernali di -10°C. Il terzo principio, quello che riguarda la necessità di produrre energia da fonti

³⁰ Inerzia termica, capacità di un materiale oppure di una struttura di variare più o meno lentamente la propria temperatura conseguentemente alle variazioni di temperatura esterna, o interna, se relative a sorgenti di calore o di raffreddamento.

rinnovabili, è soddisfatto dalla presenza in ogni Earthship di pannelli fotovoltaici, batteria di accumulo, regolatori di carica e inverter. Oltre a convertire l'energia solare in energia elettrica, sporadicamente si trovano anche sistemi che sfruttano la componente eolica attraverso turbine. Il quarto bisogno, di raccolta e riutilizzo dell'acqua piovana, trova soluzione nella conformazione dell'Earthship stessa, in particolare



Figura 19. Fotografie in cui è visibile l'impianto di pannelli fotovoltaici (a sinistra) e una turbina eolica (a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

nella copertura inclinata in modo tale da favorire l'accumulo di pioggia e neve in cisterne poste alla base dell'edificio. L'acqua nella cisterna alimenta una pompa in grado di distribuirla nell'abitazione. Per mezzo di un sistema di filtraggio si ha la possibilità di utilizzare l'acqua a vari scopi³¹, soddisfacendo così anche il quinto bisogno di trattamento delle acque grigie e nere. L'acqua nell'Earthship viene



Figura 20. Fotografie in cui è visibile la cisterna di accumulo dell'acqua (a sinistra) e le lamiere della copertura inclinata (a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

³¹ Utilizzi dell'acqua e tipologie. *Acqua bianca*, quindi acqua proveniente dalla natura, usata allo stato naturale e non derivante da lavorazioni umane. *Acqua grigia*, quindi acqua proveniente dalle lavorazioni delle cucine, dei bagni e delle lavanderie. Essa è carica di sostanze grasse, di detersivi e sbiancanti altamente inquinanti. *Acqua nera*, quindi acqua proveniente dagli scarichi dei sanitari quali wc, vasca e doccia.

utilizzata quattro volte grazie alla presenza di opportuni filtri. La prima volta, dopo esser stata pre-filtrata in un filtro a ghiaia utile a rimuovere le parti grossolane e poi in un filtro più elaborato per renderla potabile [Filtro "1" in Figura 21], viene utilizzata per lavarsi, lavare i piatti e fare il bucato in quanto *acqua bianca*. La seconda volta, in uscita dai lavandini del bagno e della cucina, viene filtrata in un filtro metallico antigrasso [Filtro "2" in Figura 21] e dalla serra stessa attraverso un processo di fitodepurazione³², così da poter nutrire le piante coltivate nella serra. La terza volta, partendo dalla serra e passando attraverso un filtro con torba [Filtro "3" in Figura 21] e attraverso un filtro a carboni attivi [Filtro "4" in Figura 21], ricopre il ruolo di acqua di scarico per il wc, in quanto *acqua grigia*. Infine, il quarto e ultimo utilizzo avviene all'esterno dell'abitazione e consiste nel nutrimento della vasca botanica per le piante non commestibili. In questa ultima fase l'acqua, definita *acqua nera*, proviene dagli scarichi del wc, della doccia, della vasca.

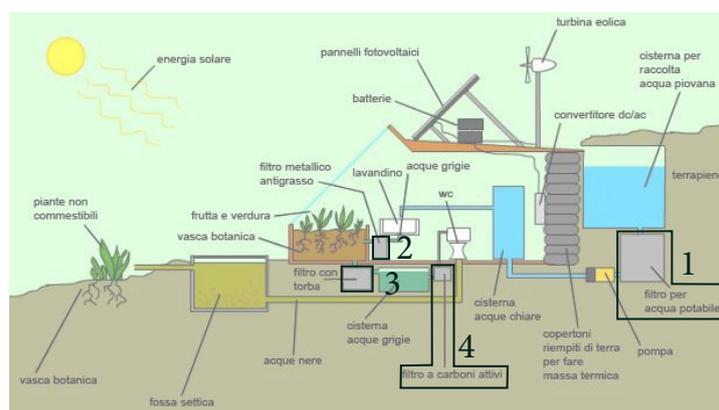


Figura 21. Raffigurazione del sistema di riutilizzo dell'acqua.
 Tratto da sito web <https://www.ideegreen.it/bioedilizia-earthship-63652.html>.

L'acqua può inoltre esser prelevata dalle falde acquifere. Per far sì di garantire anche acqua potabile da bere, viene introdotto un sistema denominato WOM³³ in grado di separare l'acqua bianca utile ai lavaggi da quella bianca destinata a diventar potabile. Una volta eliminati i sedimenti dall'acqua proveniente dalle cisterne di accumulo esterne, l'acqua destinata alla potabilità passerà attraverso altri tre filtri per eliminare elementi patogeni, sostanze organiche e inorganiche, e i batteri.

³² Fitodepurazione, sistema naturale di depurazione delle acque di scarico. Consiste in un bacino impermeabilizzato riempito da ghiaia e strato vegetale, con piante acquatiche e non.

³³ WOM, Water Organizing Module, sistema che filtra e pressurizza l'acqua potabile dividendo quella da bere da quella destinata all'uso domestico. Sistema formato da una pompa e da un serbatoio a pressione ai quali aggiungere tre filtri per ottenere acqua potabile da bere.



Figura 22. Fotografia in cui è visibile il sistema WOM di smistamento dell'acqua bianca.
Tratta da sito web: "<https://earthshipbiotecture.com/wom-water-organizing-module/>".

Il sesto bisogno, quello relativo alla produzione di cibo, viene soddisfatto sfruttando le vasche botaniche collocate all'interno dell'abitazione e alimentate dall'acqua proveniente dai servizi sanitari. Viene inoltre sfruttato l'esterno, con la possibilità di prevedere coltivazioni aggiuntive. L'acqua viene filtrata e riutilizzata ben due volte per irrigare



Figura 23. Fotografie delle vasche botaniche collocate nella serra, prima della coltivazione (a sinistra) e dopo (a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

le piante e nutrire la terra. Il potenziale di poter produrre cibo di buona qualità autonomamente, di ridurre i costi dell'energia grazie allo sfruttamento di fonti rinnovabili, di filtrare acqua per qualsiasi utilizzo, di poter utilizzare i rifiuti come materiale edile e per produrre gas metano, sono solo alcune delle caratteristiche che messe insieme rendono l'Earthship una vera e propria innovazione nel mondo dell'edilizia. Partendo da questi principi capiamo come l'architetto Michael Reynolds riesca a rendere accessibile a tutti un prodotto come l'abitazione. Un'abitazione adattabile a ogni contesto, rispettosa, fondata sui principi appena descritti e in grado di offrire uno stile di vita basato sull'organicità e sulla circolarità.

2.3 Le fasi di costruzione

Individuando nel ciclo di vita edilizio le fasi di progettazione, costruzione, manutenzione/gestione e riqualificazione/dismissione, parliamo adesso di quelle che sono le azioni principali relative alla fase di costruzione di un modello globale Earthship. Dopo essersi fatti un'idea di quali siano indicativamente le procedure da seguire al fine della realizzazione, sarà compito delle specifiche figure decisionali quello di gestire la fase di progettazione, andando anche a declinare al caso specifico quella costruttiva che approfondiremo in questo capitolo. Prima d'iniziare sottolineiamo l'importanza della fase di progettazione³⁴ relativamente all'individuazione del sito di progetto, delle quantità di materiali e prodotti coinvolti, dei fornitori e delle attrezzature, di un'adeguata squadra di costruzione e della progettazione dettagliata dell'intera fase logistica. La fase di costruzione, avviata in seguito alla definizione del progetto esecutivo, avrà inizio con i lavori di scavo, sbancamento e livellamento del terreno. La terra rimossa servirà a ricoprire le cisterne di accumulo per l'acqua piovana posizionate a nord del modulo abitativo (sud se nell'emisfero australe). Si procede così al posizionamento di pneumatici fuori uso (PFU) sul terreno³⁵, secondo il design globale. All'interno degli pneumatici viene collocato uno strato di cartone e su di esso della terra compattata. Il cartone impedirà che la terra scivoli quando verrà compattata all'interno dello pneumatico per mezzo di attrezzi manuali e in una quantità di circa 75 kg per

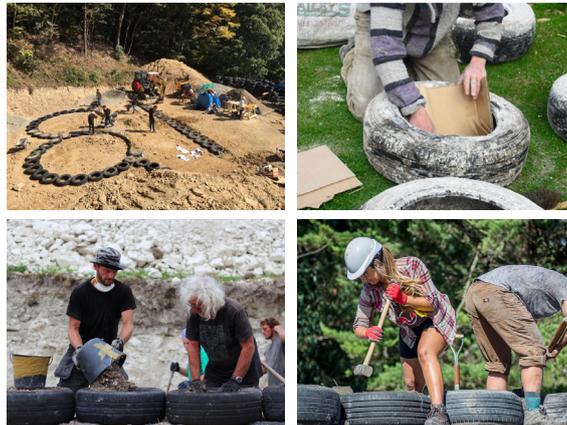


Figura 24. Fotografie in cui sono visibili le fasi di posizionamento degli pneumatici (in alto a sinistra), del cartone all'interno dello pneumatico (in alto a destra), della terra nello pneumatico (in basso a sinistra) e del compattamento della terra per mezzo di energia fisica (in basso a destra).

Traatta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

³⁴ Tra le operazioni da fare in fase di progettazione ricordiamo gli studi strutturali e relativi alla possibile emissione di gas nocivi dagli pneumatici che vanno a comporre la struttura portante. Entrambi gli studi hanno attestato la sicurezza di tale tecnologia [Rapporto di geotecnica ambientale n. 95-2. Programma di Ingegneria Geotecnica Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale- "Use of Scrap Tires in Civil and Environmental Construction", 10 maggio 1995].

³⁵ È possibile inserire un cordolo in cls alla base per evitare lo slittamento sismico se necessario [Tesi di Laurea di Valentina Pocaforza].

pneumatico. Gli pneumatici vengono sovrapposti in modo tale da creare corsi utili alla realizzazione della parete portante, la quale, per evitare che luce del sole o fuoco deteriorino lo pneumatico, verrà ricoperta con intonaci, barriere al vapore e membrane impermeabilizzanti. Durante la definizione di questo muro portante composto da “mattoni di pneumatici in terra battuta”, correttamente integrati da tondini di acciaio³⁶ utili a contrastare le forze orizzontali, sarà necessario procedere passo passo al livellamento integrando al punto giusto il posizionamento dei tubi di refrigerazione in PVC e il collegamento con le cisterne adiacenti collocate precedentemente. Viene scavato poi



Figura 25. Fotografie in cui compaiono i tubi di refrigerazione non ancora integrati (in alto a sinistra) e integrati (in alto a destra), il livellamento del muro di pneumatici (in basso a sinistra) e il muro portante ultimato prima di esser ricoperto (in basso a destra).

Tratta da sito web: “<https://www.facebook.com/earthship/>”.

un basamento rivestito di barriera al vapore e riempito di cemento, all'interno del quale vengono posizionati i tirafondi per la parete portante prefabbricata in legno che andrà a suddividere gli ambienti interni dall'ambiente serra. Allo stesso tempo vengono costruiti con il cemento anche i contrafforti, facendo uso delle lattine e delle bottiglie riciclate. Per la costruzione dei contrafforti vengono predisposte delle cornici in legno di scarto, del tutto artigianali e non prefabbricate, utili a far da supporto per la costruzione della parete composta da sabbia, eco-cemento³⁷, acqua e lattine di scarto. La struttura di legno rimarrà integrata nella parete, non ricoprendo la funzione di cassaforma, e al suo interno verrà gettato l'impasto sopra descritto nel quale saranno

³⁶ Sostituibili da una struttura in acciaio/legno con base in cls. La struttura è fornita di molle ed è utile a incastrare gli pneumatici in modo da indurre un comportamento monolitico della parete [Tesi di Laurea di Valentina Pocaforza].

³⁷ Il legante può essere cemento ma anche argilla, schiuma, malta, stucco gesso o qualsiasi altro legante che soddisfi specifiche prestazioni.

disposte le lattine, distanziate 25 mm l'una dall'altra, e le bottiglie di vetro, anch'esse disposte alla stessa distanza l'una dall'altra ma lavorate secondo un procedimento differente da quello utilizzato per le lattine di plastica/alluminio. Nel caso della plastica/alluminio le lattine vengono



Figura 26. Fotografie in cui compare il muro portante intonacato (in alto a sinistra), la predisposizione del basamento per la parete portante in legno (in alto a destra), la costruzione dei contrafforti e la predisposizione della serra (in basso a sinistra) e un contrafforte con bottiglie di vetro e cemento (in basso a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

leggermente schiacciate in verticale, mentre, nel caso del vetro, vengono creati dei veri e propri "mattoni di vetro" con i fondi delle bottiglie. Nel caso del vetro, le bottiglie vengono segate con una sega circolare, lavate e



Figura 27. Fotografie in cui si vede l'attrezzo attraverso cui vengono tagliate le bottiglie di vetro (in alto a sinistra), la pulizia delle bottiglie di vetro tagliate (in alto a destra), un muro fatto con le bottiglie di vetro (in basso a sinistra) e un mattone di vetro (in basso a destra).
Tratta da sito web: "<https://www.facebook.com/earthship/>".

asciugate fino a ottenere fondi con lo stesso diametro che verranno uniti a due a due con un nastro adesivo resistente in plastica, formando così un mattone di vetro. Questi “mattoni” non vengono ricoperti dall’intonaco, come accade per la lattine di plastica/alluminio, così da ottenere una decorazione di colorazioni variopinte a seconda della luce. Grazie ai contrafforti vengono delineati gli ambienti interni e, grazie alla parete portante in legno, nasce l’ambiente della serra. Vengono poi disposte le capriate per la costruzione della serra, le travi per il posizionamento



Figura 28. Fotografie in cui si vede la costruzione della serra (in alto a sinistra), opere di finitura interna (in alto a destra), decorazioni con bottiglie di vetro (in basso a sinistra) e la fase di pavimentazione (in basso a destra).
Tratta da sito web: “<https://www.facebook.com/earthship/>”.

della copertura e gli infissi. Parallelamente vengono posizionati gli impianti e terminata la serra. Si procede infine con la pavimentazione, con le decorazioni e con le finiture, perlopiù ideate a partire dall’unione di mattoni di vetro e del composto utilizzato nell’adobe³⁸. Si procede infine con la creazione della fossa settica esterna.



Figura 29. Fotografie delle decorazioni e delle finiture. Un muro (a sinistra) e un bagno (a destra).
Tratta da sito web: “<https://www.facebook.com/earthship/>”.

³⁸ Adobe, tecnica di lavorazione della terra cruda. Solitamente utilizzata per creare mattoni a partire da uno stampo in cui compattare il composto costituito da terra, paglia sminuzzata, sabbia e acqua, nelle giuste dosi.



Schema 1. Schema delle attività chiave nella realizzazione di una Earthship^{39,40}. Elaborato personale.

³⁹ Tra i macchinari da noleggiare ricordiamo un retroescavatore, una motosega, una sega circolare, una betoniera, una gru, attrezzi manuali, etc.

⁴⁰ Nella fase iniziale di progetto sarà necessario scegliere i materiali e le risorse necessarie individuando i fornitori e preferendo attendibilità per quanto riguarda il rilascio di sostanze chimiche nocive alla salute (EPD). Vengono preferite risorse a km 0 e che non richiedano competenze specifiche per esser maneggiate.

2.4 L'Earthship in Italia

L'intenzione di costruire una Earthship su territorio italiano è attribuibile all'associazione torinese OffGrid Italia nell'ambito del progetto Reland. Si tratta di un progetto nato da una convenzione tra il Comune di Cambiano, il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino e per l'appunto l'associazione OffGrid. Il progetto del parco Reland, che prevede la realizzazione di un parco tematico sull'economia circolare in cui l'Earthship ha la funzione di manifesto di circolarità, è a sua volta parte di un progetto europeo più ampio che prende il nome di ECO3R. Quest'ultimo, cofinanziato da AtoR (Associazione d'Ambito Torinese per il Governo dei Rifiuti) e promosso dal Consorzio Chierese⁴¹ e dal Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino, ha l'intento di seminare consapevolezza riguardo al tema della Riduzione, del Riutilizzo e del Riciclo, da cui l'acronimo "3R". Con la concreta volontà di realizzazione, vengono coinvolte scuole, famiglie e attività produttive provenienti dai 19 Comuni del Chierese e del Carmagnolese, compreso Cambiano, comune che ospiterebbe il sito di progetto Earthship. Le difficoltà riscontrate nella volontà di voler costruire questo modulo abitativo riguardano principalmente aspetti normativi. Per sopperire ai problemi legati all'impossibilità di fornire documenti attestanti la protezione antincendio, Debora Tantillo, nella sua tesi di laurea, ha provveduto a consultare i capitoli inerenti alla pubblica sicurezza e alla prevenzione incendi (R.D 18 giugno 1931 n.773 e D.M 19 agosto 1996) definendo l'ambiente interno non residenziale ma bensì "locale di trattenimento con indice di 0,7 persone/m², dalla capienza massima di 80 persone", in modo da rimanere sotto le 100 persone e di non dover fornire alcuna normativa antincendio. A partire da questi presupposti sono state adottate nel progetto tutte le misure di sicurezza necessarie in caso di "edificio privato aperto al pubblico". Queste misure riguardano il posizionamento di estintori, di uscite di sicurezza e di servizi igienici, non trascurando la verifica di altezza media interna garantita di 2,7 m. Un'altra problematica non ancora risolta riguarda la scelta di voler utilizzare lo pneumatico fuori uso come pilastro portante dell'edificio, non rientrando questo tra i materiali da costruzione tradizionali presenti nelle NTC⁴². Osservata la concreta volontà di realizzare questo progetto in Italia, consapevoli degli innumerevoli ostacoli normativi che rallentano la fase progettuale, ci apprestiamo a costruire un modello BIM dell'Earthship così da poter

⁴¹ Il Consorzio Chierese per i Servizi, CCS, è un consorzio obbligatorio pubblico formato da 19 Comuni della Provincia di Torino. Esso ha il compito di gestire la raccolta differenziata; la raccolta, il trasporto e lo smaltimento dei rifiuti; la tassa sui rifiuti; i regolamenti e il coordinamento.

⁴² NTC, Norme tecniche per la costruzione. Elenco di norme stabilite dal Governo riguardo al campo dell'edilizia. Fino a qualche anno fa venivano seguite le NTC relative al Decreto Ministeriale del 2008, oggi si fa riferimento al Decreto del 2018.

organizzare e gestire al meglio le informazioni ad oggi collezionate e quelle ancora in corso di approvazione. Il BIM darà la possibilità di monitorare il progetto durante l'intero ciclo di vita, dal *concept* fino alle fasi di manutenzione e dismissione. Le informazioni da cui partire per la creazione di tale modello, seppur non ancora definitive, ci sono state fornite da Valentina Pocaforza, Chiara Massimello e Debora Tantillo nelle rispettive tesi di laurea. Per quanto scritto da Debora, che si è occupata della definizione della filiera, riassumendo le quantità di materiali e prodotti utilizzati e andando a individuare i possibili fornitori, il



Figura 30. Materiali e ipotetici fornitori per l'Earthship di Cambiano.
Tratta dalla tesi "Applicazione del concept Earthship in Italia" di Debora Tantillo.

70% dei materiali potrebbe esser fornito direttamente dal Consorzio Chierese per i Servizi, più nello specifico dal Centro di Raccolta di Chieri⁴³, la cui funzione riguarda la raccolta dei rifiuti e di materiali di scarto. Grazie a quest'organo sarà possibile reperire gli pneumatici fuori uso, le bottiglie di vetro, i tondini di acciaio, le travi di legno, il materiale per la pavimentazione e il cordolo in calcestruzzo. Il restante 30% dei materiali, quindi la guaina impermeabilizzante, gli infissi e l'impasto di argilla, risulta invece difficilmente recuperabile dal Consorzio. Le guaine impermeabilizzanti proverranno dall'azienda Imper Italia s.r.l., situata a a 28,3 km dal sito di progetto, gli infissi saranno invece scelti tra i prodotti dell'azienda El.mec Serramenti, collocata a 17,1 km dal sito di progetto. Tutti i materiali saranno dotati di EPD⁴⁴ e conformi alle prescrizioni dei protocolli Itaca e Leed. Per l'argilla e i restanti materiali non disponibili presso il Consorzio, ci si affiderà all'azienda F.G. s.r.l, punto di riferimento per l'ambito edile in Piemonte, situata a circa 35 km di distanza dal sito di progetto. Mancano i dettagli relativi al noleggio dell'attrezzatura, manuale e meccanica, alle rifiniture, agli impianti, all'equipaggiamento per la squadra di lavoro e ad altro.

⁴³ Centro Raccolta di Chieri, uno dei 7 centri di raccolta del Consorzio Chierese per i servizi. Serve i comuni di Chieri, Andezeno, Cambiano, Baldissero, Marentino, Mombello, Moncucco, Montaldo, Moriondo, Santena.

⁴⁴ EPD, Environmental Product Declaration, la dichiarazione ambientale EPD, definita dalla norma ISO 14025, è un documento di certificazione volontaria che attesta e certifica i requisiti in termini di sostenibilità e impatto ambientale nell'intero ciclo di vita del prodotto o servizio.

3. Earthship e Edilizia circolare in Italia

Esaminiamo i principi di edilizia circolare leggendo l'Earthship per mezzo delle linee guida pubblicate nel 2020 dal Green Building Council Italia. Realizziamo delle tabelle, per ciascun obiettivo e per ciascun target, al fine di riassumere le azioni proposte dal documento e, con l'obiettivo di valutare l'efficacia dell'Earthship, inseriamo in tali tabelle riassuntive dei segni di spunta, positivi qualora il progetto Earthship rispettasse l'azione indicata. Terminata l'analisi puntuale delle azioni proposte dal documento, facciamo un riepilogo dei dati osservati e calcoliamo in percentuale i segni di spunta positivi, per ciascun obiettivo e per ciascun target, costruendo così la matrice di efficacia che ci permetterà di definire il potenziale di circolarità del progetto.

3.1 Linee guida per la progettazione circolare

Dal momento che il ruolo dell'Earthship nel parco Reland sarà quello di manifesto di edilizia circolare, il nostro obiettivo diventa quello di valutare il potenziale di circolarità di tale modulo abitativo rispetto alle direttive generali pubblicate dall'associazione nazionale Green Building Council Italia⁴⁵ in merito all'applicazione dell'economia circolare nel contesto edilizio. Uno dei più grandi enti riconosciuti a livello internazionale, la Ellen MacArthur Foundation (EMF), individua cinque criteri fondamentali su cui si basa il concetto di economia circolare, a partire dai quali si ispireranno tutti gli altri enti, compreso il GBC Italia. I principi, che potrebbero mettere in discussione la circolarità dei casi studio citati al capitolo "1.4 Edilizia Circolare", sono cinque: l'**eco progettazione**, quindi la progettazione consapevole e orientata a prevedere la fase di fine vita dei prodotti, così da garantire eventuale smontaggio o ristrutturazione; la **modularità** e la **versatilità**, ovvero la necessità di far sì che il prodotto possa adattarsi al cambiamento delle condizioni esterne; le **energie rinnovabili**, quindi l'utilizzo di energie prodotte da fonti rinnovabili piuttosto che da fonti fossili; l'**approccio ecosistemico**, quindi la capacità di considerare l'intero sistema in tutte le sue componenti; infine il **recupero dei materiali**, ovvero la scelta di sostituire materie prime vergini con materie prime seconde provenienti da filiere di recupero, possibilmente evitando il *downcycling*. A partire da questi criteri si sviluppano le 15 azioni chiave riportate nel Position Paper al quale faremo riferimento, scritto nel 2020 dal GBC Italia. Questo documento nasce a supporto del Green Deal Europeo⁴⁶ e si concentra sul macro obiettivo che prevede il raggiungimento di risorse efficienti e di cicli di vita circolari dei materiali. L'obiettivo è quello di voler promuovere la riduzione dei rifiuti, di voler ridurre gli impatti ambientali e di voler minimizzare i costi, per far ciò vengono definite azioni ben strutturate per ogni attore coinvolto nel processo edilizio. Le azioni proposte sono organizzate nel documento rispetto a tre obiettivi principali: di durabilità, di adattabilità e di decostruzione. Il fine è quello di promuovere una visione progettuale di medio-lungo termine, la scelta di sistemi costruttivi flessibili e metodi di costruzione orientati al recupero di materiali e prodotti. Immedesimandoci adesso nei sette *target group* citati nel documento, analizziamo l'Earthship individuando i punti di forza, le criticità e la percentuale di circolarità del manufatto, come se si trattasse della compilazione di una certificazione multi criterio necessaria al rilascio del titolo "edificio circolare" in Italia.

⁴⁵ Green Building Council Italia, GBC Italia, associazione senza scopo di lucro operante nell'ambito dell'edilizia sostenibile. Prende parte al World GBC, quindi ad una rete di GBC nazionali presenti in più di 70 paesi. Organizzazione di rilievo con l'obiettivo di diffondere una cultura sull'edilizia sostenibile, veicolando la transizione verso un mercato fondato su sistemi di certificazione.

⁴⁶ Green Deal Europeo, documento che descrive la strategia di crescita dell'UE riguardo al raggiungimento degli obiettivi anticipati dall'Agenda 2030. Esso è stato presentato nel 2019 dalla Commissione Europea.

3.1.1 Principi Generali

Nel documento redatto a settembre 2020 dal Green Building Council Italia, come anticipato nel capitolo precedente, vengono sviluppate delle linee guida relative all'edilizia circolare ispirate ai principi europei e applicabili al contesto nazionale. Oltre a sottolineare la necessità di inquadrare scenari di durabilità, adattabilità e decostruzione, tra i principi generali descritti nel documento viene individuata la necessità di coinvolgere tutti gli attori presenti lungo la catena del valore. Viene inoltre consigliato di tenere conto dei costi complessivi del ciclo di vita, sfruttando strumenti come il *Life Cycle Costing*⁴⁷ per evidenziare la convenienza economica delle pratiche di recupero. Risulta necessario costruire un contesto legislativo favorevole, un mercato affidabile e nuovi modelli finanziari, come ad esempio i modelli "product as a service"⁴⁸. Affinché l'intera filiera risulti conveniente diventa anche fondamentale pensare già in fase di progettazione alla decostruzione del manufatto, con l'obiettivo di migliorare la durabilità e l'adattabilità dell'edificio e delle sue componenti. Tutte queste azioni necessitano di una migliore conoscenza delle tecniche costruttive. Al fine di garantire la durabilità si deve favorire la scelta di sistemi costruttivi facilmente riparabili, sostituibili e gestibili, preferibilmente dotati di informazioni certificate da aggiornare durante l'intero ciclo di vita. L'adattabilità viene resa possibile anticipando gli scenari di fine vita e sviluppando una nuova cultura del design fondata sulla flessibilità, così da poter preferire la trasformazione alla demolizione. La riduzione e valorizzazione dei rifiuti prevede l'attenzione verso la progettazione della decostruzione. Quest'obiettivo necessita della progettazione di sistemi e prodotti facili da smontare, semplici e predisposti a essere recuperati al fine di assicurare l'uso circolare delle risorse.

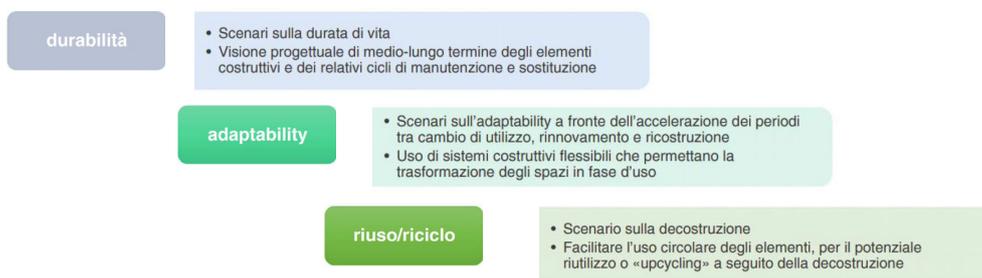


Figura 31. Obiettivi specifici per il raggiungimento dell'economia circolare all'interno del processo edilizio.

Tratta da GBC Italia (2020). Linee guida per la progettazione circolare di edifici.

⁴⁷ Life Cycle Costing (LCC), metodo di valutazione per calcolare il costo economico di un prodotto o servizio nel corso dell'intero ciclo di vita.

⁴⁸ "Product as a service" (Paas), modello finanziario in cui il produttore mantiene la proprietà del prodotto/ servizio occupandosi della gestione e del fine vita.

3.1.2 Target Group

I principi elencati al capitolo precedente vengono adesso riproposti al fine di delineare le linee guida per ciascun attore della catena di approvvigionamento e di valore. Per far ciò vengono definiti sette target: utenti, gestori di strutture e proprietari; progettisti e ricercatori; appaltatori e costruttori; produttori di materiali da costruzione; squadra di decostruzione e demolizione; investitori, assicuratori e sviluppatori; Governi, Autorità e Pubbliche Amministrazioni.

TARGET 1: Utenti, gestori di strutture e proprietari



Figura 32. Rappresentazione che riassume i tre obiettivi specifici.
Tratta da GBC Italia (2020). Linee guida per la progettazione circolare di edifici.

Per incentivare la durabilità dell'immobile dal punto di vista dell'utenza è necessario minimizzare i costi totali nel tempo, migliorare il valore del manufatto, promuovere l'uso ottimale dell'edificio e adattare e trasformare l'edificio attraverso metodi che implicino la circolarità. Per minimizzare i costi è utile introdurre prodotti di qualità certificata, reperibili e identificabili per eventuali manutenzioni o sostituzioni, disporre di chiare istruzioni per la manutenzione, così da abbattere i costi di gestione, e prevedere investimenti per l'ottimizzazione energetica. Per migliorare il valore dell'edificio è raccomandabile utilizzare strumenti che facilitino la gestione degli impianti, Building Managements Systems (BMS⁴⁹), ottimizzando così i costi energetici e valorizzando le potenzialità di un ambiente. Anche un piano di manutenzione, costituito dal capitolato dei lavori⁵⁰ e da indicatori di prestazione KPI⁵¹, contribuisce a migliorare il valore dell'edificio, così come un piano di investimento CAPEX⁵², utile in vista di trasformazioni future volte a migliorare o mantenere il valore dell'immobile. La fase di esercizio e utilizzo necessita invece

⁴⁹ BMS, sistema di controllo e gestione degli edifici in relazione a impianti e apparecchi, gestibili in loco o da remoto attraverso sensori.

⁵⁰ Capitolato dei lavori, documento che attesta i progetti previsti per un edificio, considerando tutti gli elementi essenziali di progetto.

⁵¹ Key Performance Indicators (KPI), indicatore chiave di prestazione.

⁵² CAPEX, previsione dei soldi da spendere per acquistare, mantenere o migliorare l'immobile.

di incentivi che promuovano l'uso ottimale dell'edificio, che avviene per mezzo di piani di manutenzione predittivi e programmati ma anche per mezzo di una gestione centralizzata e di una partnership con fornitori orientati non solo alla valorizzazione ma anche allo sviluppo prestazionale. Infine diventa fondamentale, ai fini della durabilità, avviare il progetto a un approccio di circolarità disponendo di un piano di riparazione anziché di sostituzione, progettando una *dataroom* della componentistica dell'edificio così da agevolarne il riuso (attraverso metodologia BIM), creando magazzini per il materiale di scarto, implementando sistemi hw e sw⁵³, e infine selezionando ditte qualificate in grado di provvedere all'assistenza senza necessariamente ricorrere a nuovi acquisti ma utilizzando materiale derivante da processi di riciclo.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Minimizzare i costi totali	Prodotti di qualità certificata	V
	Istruzioni per la corretta manutenzione	V
	Ottimizzazione energetica	V
Migliorare il valore del manufatto	Strumenti BMS	X
	Piano di manutenzione	X
	Piano di investimento Capex	X
Promuovere l'uso ottimale dell'edificio	Manutenzione predittiva programmata	X
	Gestione centralizzata	V
	Partnership sviluppo prestazionale	X
Applicare l'approccio circolare	Piano di riparazione	V
	Dataroom della componentistica	X
	Magazzini materiale di scarto	V
	Sistemi hw e sw	X
	Albo fornitori	V

Tabella 1. Tabella riassuntiva delle azioni di durabilità per il Target 1. Elaborato personale.

Per favorire l'adattabilità è necessario ridurre i costi finanziari di utilizzo, progettare pensando a un adattamento a costi ragionevoli e promuovere l'adattabilità dal punto di vista dell'utente. Per minimizzare i costi di utilizzo vengono usati strumenti in grado di fornire le necessarie informazioni per sviluppi e trasformazioni dell'edificio, come ad esempio un piano di manutenzione, un manuale

⁵³ hw e sw, rispettivamente hardware e software. Sistemi come rfid, barcode, gps, sensori, qrcode, tag.

di manutenzione e d'uso, l'utilizzo di un mezzo come il BIM, in grado di scrivere il passaporto dell'edificio, una *dataroom* virtuale⁵⁴, capace di riconoscere componenti e sistemi permettendo la condivisione di informazioni con maggiore trasparenza, la creazione di un portale web per gli utenti dell'immobile, per conferire l'accesso al magazzino dei materiali di scarto e una guida per l'utente. Importante è progettare in vista di un adattamento a costi ragionevoli, reso possibile attraverso l'utilizzo di elementi standardizzati e modulari, attraverso un *business plan* previsionale e progettando ambienti open space senza vincoli strutturali o spazi ad uso collettivo con più utilizzi. Per promuovere l'adattabilità dal punto di vista dell'utente, si pone attenzione al possibile riutilizzo di materiali da costruzione riportati in un documento "as-built"⁵⁵ e si registrano le modifiche effettuate in un "registro dell'edificio", anche chiamato "fascicolo del fabbricato". Per facilitare l'adattamento è infine indispensabile una progettazione reversibile.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Minimizzare i costi di utilizzo	Piano di manutenzione	X
	Manuale di manutenzione e d'uso	X
	BIM e passaporto edificio	X
	Dataroom virtuale	X
	Portale web e guida utente	V
Adattamento a costi ragionevoli	Progettazione modulare	X
	Business plan previsionale	X
	Ambienti open space	V
Adattabilità per l'utente	Documento "As-built"	X
	Registro o fascicolo dell'edificio	X
	Progettazione reversibile	X

Tabella 2. Tabella riassuntiva delle azioni di adattabilità per il Target 1. Elaborato personale.

Per ridurre e valorizzare i rifiuti è necessario minimizzare l'utilizzo di risorse naturali. Per raggiungere questo obiettivo potrebbe essere utile stabilire accordi contrattuali con i fornitori al fine di restituire le componenti non utilizzate e con l'obiettivo di programmare con essi la riparazione piuttosto che la sostituzione. È sempre grazie al piano di manutenzione che si può pensare di ottenere un inventario dei materiali stoccati e utili per un futuro utilizzo, riducendo così i rifiuti.

⁵⁴ *Dataroom* virtuale (DRV), è un archivio digitale in cui conservare informazioni riguardanti tutte le componenti edilizie e impiantistiche.

⁵⁵ Documento "as-built", rappresentazione geometrica e informatica di come effettivamente è costruito il manufatto. Punto di partenza per effettuare modifiche al progetto.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Minimizzare risorse naturali	Accordi con fornitori	V
	Piano di riparazione	V
	Piano di manutenzione	X

Tabella 3. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 1. Elaborato personale.

TARGET 2: Progettisti e ricercatori

Alla base della progettazione di edifici ci deve essere una conoscenza dei principi dell'economia circolare, dei requisiti, delle strategie di progettazione e del concetto di valutazione del ciclo di vita. L'approccio del progettista deve seguire le linee guida del *Design for Decostruction*⁵⁶ e, per riassumere scelte progettuali e costruttive, deve essere sintetizzato attraverso la metodologia BIM. Egli deve preferire il riuso al riciclo per motivi di dispendio energetico, scegliendo già in partenza componenti che prevedano una seconda vita. Altro punto cardine per il progettista riguarda la previsione del costo operativo dell'edificio e delle possibili modifiche. Fondamentale è anche la tracciabilità di impatti e benefici ambientali e sociali, e del potenziale di recupero. Uno strumento di valutazione utilizzato è ad esempio il *Life Cycle Costing*. Il team di gestione inoltre deve esser coinvolto in tutte le fasi del ciclo di vita, prendendo in considerazione differenti metodi di valutazione e al fine di scegliere la miglior soluzione. Tra i metodi di valutazione citiamo gli indicatori proposti da Level(s) ma anche i criteri minimi ambientali (CAM⁵⁷), il protocollo LEED e il *Life Cycle Assessment*. Per far sì che l'edificio risulti durevole dovranno esser scelti materiali resistenti e a loro volta durevoli, grazie anche al supporto delle Norme Tecniche per le Costruzioni. L'edificio dovrà inoltre esser considerato come una banca di materiali in grado di conferire nuovi cicli di vita a componenti obsoleti.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Edificio come banca di materiali	Materiali durevoli	V
Formazione su economia circolare	DfD/A	X
	LCC, LCA	X
	Certificazioni: LEED, Level(s),..	X

Tabella 4. Tabella riassuntiva delle azioni di durabilità per il Target 2. Elaborato personale.

⁵⁶ *Design for Decostruction* (DfD) progettazione della decostruzione. ISO 20887.

⁵⁷ Criteri Minimi Ambientali (CAM), sono criteri di progettazione per avere maggiore attenzione in termini di sostenibilità.

Per garantire adattabilità il progettista dovrebbe progettare la reversibilità e la flessibilità dell'edificio, valutando la fattibilità delle scelte progettuali. È da considerare l'adattamento ai cambiamenti climatici, l'adattabilità funzionale e la resilienza. La progettazione deve esser fatta pensando a differenti scenari di utilizzo e facendo uso di componenti flessibili e disassemblabili (DfD). Altro compito del progettista è quello di valutare l'impatto ambientale di ogni soluzione costruttiva scelta, per ridurre i rifiuti ma anche per quantizzare le emissioni di gas serra, i consumi energetici e di materiale. Per tali valutazioni sarà necessario calcolare gli indicatori di impatto ambientale, EE e EC, ed effettuare l'analisi LCA.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Adattabilità e reversibilità	Componenti flessibili, disassemblabili	X
	Diversi scenari di utilizzo	V
Valutazione	Embodied Energy e Embodied Carbon	X
	LCA	X

Tabella 5. Tabella riassuntiva delle azioni di adattabilità per il Target 2. Elaborato personale.

Per migliorare la gestione dei rifiuti è necessario porre attenzione all'utilizzo di materiali riciclati e riciclabili a fine vita, promuovere il reimpiego di componenti edilizi, progettare il disassemblaggio e garantire la tracciabilità di prodotti e materiali. Nella scelta dei materiali riciclati e riciclabili è necessario affidarsi alla dichiarazione ambientale EPD, assicurandosi di rispettare il CPR⁵⁸. In Italia è il Green Public Procurement⁵⁹ a dare una notevole spinta verso la creazione di un mercato affidabile riguardante i materiali con componente di riciclato e riciclabili. Per riutilizzare i componenti edilizi di edifici esistenti è importante analizzare i flussi materici in input e in output, favorendo il riutilizzo di materia prima seconda attraverso analisi di tipo LCA volte a valutare potenzialità e benefici ambientali. Si deve preferire materiale a km 0, quindi fornito da produttori del luogo. È necessario progettare la disassemblabilità tenendo a mente i vari aspetti dell'economia circolare. Il progettista è tenuto a garantire la tracciabilità del prodotto e del materiale edilizio creando un passaporto del materiale stesso attraverso ad esempio la metodologia BIM. Egli è tenuto infine a proporre la stesura di un audit per-demolizione⁶⁰, utile per l'appunto nelle fasi di fine vita. Per la tracciabilità dei rifiuti da costruzione e demolizione, in Italia, si fa riferimento all'EU Construction &

⁵⁸ Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR), normativa europea sui requisiti dei prodotti nelle opere in costruzione.

⁵⁹ Green Public Procurement (GPP), sistema di acquisto di prodotti e servizi a minor impatto ambientale.

⁶⁰ Audit per-demolizione, o pre-demolition audit, è un'indagine volontaria sui materiali di un manufatto.

Demolition Waste Management Protocol”⁶¹ e a “Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings”⁶², linee guida identificate dall’Unione Europea nel Circular Economy Package.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Materiali riciclati e riciclabili	EPD	V
	LCA	X
Riutilizzo componenti edilizi	LCA	X
	Materia prima seconda a km0	V
Progettare disassemblabilità	Materiali certificati e tracciabili	V
	Manuale costruttivo	V
Tracciabilità prodotti e materiali	Passaporto materiale	X
	Pre-demolition audit	X

Tabella 6. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 2. Elaborato personale.

TARGET 3: Appaltatori e costruttori

Le squadre di costruttori e appaltatori ricoprono un ruolo fondamentale nelle fasi di costruzione e disassemblaggio. La pianificazione delle attività di cantiere è fondamentale ed è consigliato farla per mezzo della metodologia BIM. La durabilità e la reversibilità dell'edificio è garantita grazie alle scelte di mezzi adeguati e grazie a tecniche costruttive idonee. È necessario simulare scenari futuri mettendo a confronto il costo di ciascuno. Altro fattore importante è quello relativo alla disponibilità di risorse extra, utili nel caso di errori di installazione. È inoltre consigliabile la selezione di tecniche costruttive in grado di facilitare la manutenzione e la riparazione di tutte le componenti dell'edificio.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Tecniche costruttive adatte	Simulare scenari di durabilità	X
	Pianificazione attività di cantiere	X
	Avere risorse per eventuali errori	V
	Piano di riparazione	V

Tabella 7. Tabella riassuntiva delle azioni di durabilità per il Target 3. Elaborato personale.

Per garantire l’adattabilità, gli appaltatori e costruttori dovrebbero

⁶¹ EU Construction & Demolition Waste Management Protocol, 2016.

⁶² Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings, 2018.

concentrarsi su tecniche di costruzione adatte e scelte in base alla frequenza di necessità manutentiva. Si deve optare per prodotti facilmente disassemblabili e con indicatori di prestazione notevoli.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Tecniche costruttive adatte	Piano di manutenzione	X
	Prodotti disassemblabili	X
	Costi e benefici, KPI	X

Tabella 8. Tabella riassuntiva delle azioni di adattabilità per il Target 3. Elaborato personale.

Per valorizzare i rifiuti minimizzando il loro impatto, è necessario pianificare la fase di costruzione, dismissione e di rinnovamento. Si deve facilitare la fase di decostruzione secondo gli standard di progettazione e per farlo è consigliato scegliere, in fase progettuale, prodotti riciclati, riciclabili, riutilizzati e riutilizzabili. Per raggiungere l'obiettivo è necessario anche effettuare un audit pre-demolizione⁶³ stimolando la comunicazione tra progettisti e appaltatori/costruttori. È consigliato utilizzare tecniche e sistemi di assemblaggio che permettano una decostruzione selettiva e pulita. L'utilizzo del BIM può rendere il processo di decostruzione più semplice, organizzato e sicuro. Fedeli alla scelta di voler utilizzare prodotti riciclati e riciclabili, riutilizzati e riutilizzabili, potrebbe essere utile consultare le schede tecniche di tali componenti, i documenti di acquisto, come ad esempio le certificazioni EPD, e i fornitori presenti a più corto raggio.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Pianificare fase di costruzione, demolizione e rinnovamento	Audit pre-demolizione	X
	Utilizzo del BIM	X
Decostruzione selettiva	Tecniche di assemblaggio	X
	Utilizzo del BIM	X
Prodotti riutilizzati, riciclati	Schede tecniche e documenti	V
	Disponibilità a km0	V

Tabella 9. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 3. Elaborato personale.

TARGET 4: Produttori di materiali da costruzione

La durabilità dei materiali edili in Italia è normata nelle Norme Tecniche

⁶³ Audit pre-demolizione, anche denominato audit di gestione dei rifiuti.

per le Costruzioni, tuttavia talvolta accade di utilizzare materiali non ancora adeguatamente testati nel tempo e privi di affidabilità. È indispensabile valutare la durabilità delle soluzioni tecniche e dei componenti edilizi affinché vengano soddisfatte le funzioni richieste in un arco temporale definito. C'è bisogno di standard di prodotto e di sistemi di verifica. Devono essere effettuate analisi LCC e LCA di tutti gli elementi e i componenti durante l'intero ciclo di vita utile, al fine di testare la sostenibilità economica e ambientale. È importante valutare la sicurezza e la resistenza in fase d'uso. Bisogna fare scelte progettuali sulla base di principi di durabilità ed ecocompatibilità, considerando anche innovativi modelli di business come ad esempio il Paas. Per quanto riguarda la valutazione della durabilità in Italia si fa riferimento alla norma UNI 11156:2006 e alla circolare del 21 gennaio 2019 n. 7 C. S. LL. PP.- Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per la Costruzioni", di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (NTC 2018). L'obiettivo di tali direttive è quello di valutare l'affidabilità dei materiali al fine di far durare nel tempo le caratteristiche specifiche e la geometria dei componenti strutturali. In quanto alle valutazioni ambientali ed economiche, oltre all'utilizzo di strumenti LCC e LCA, è consigliata l'analisi dei possibili scenari di fine vita. Incoraggiando i produttori a tracciare le informazioni rispetto al ciclo di vita dei materiali e scegliendo prodotti basati su una logica "cradle to cradle", si promuove la realizzazione di prodotti durevoli ed ecocompatibili. Con la norma EN 15804: 2012+A2:2019 viene proposta un'integrazione delle EPD rendendo obbligatoria la valutazione LCA dei prodotti in relazione ai processi di produzione e consumo di energia e di materiali, di demolizione/costruzione, di trasporto, smaltimento e riciclaggio e in relazione ai flussi nelle fasi di fine vita. Per gli EPD "dalla culla alla tomba" sono invece obbligatorie le valutazioni relative al trasporto, all'installazione, all'uso e alla manutenzione. Il progetto ecocompatibile in edilizia ha come obiettivo quello di ridurre il GWP⁶⁴ eliminando il concetto di rifiuto e promuovendo la filosofia del km0.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Valutare resistenza e sicurezza	Standard di prodotto e sistema di verifica	V
	NTC	X
Valutare sostenibilità economica e ambientale	LCC, LCA	X
	Scenari fine vita	X
Prodotti durevoli e ecocompatibili	Sostituzioni parziali o riparazione	V

⁶⁴ Global Potential Warming (GWP), il valore potenziale con cui si contribuisce al riscaldamento globale.

Nuovi modelli di business	Prodotti "cradle to cradle"	V
	PaaS	X

Tabella 10. Tabella riassuntiva delle azioni di durabilità per il Target 4. Elaborato personale.

Per garantire adattabilità è consigliabile conferire all'edificio e alle sue componenti adattabilità funzionale e reversibilità spaziale, la prima ottenuta grazie all'utilizzo di moduli prefabbricati e sistemi smontabili e sostituibili parzialmente, la seconda privilegiando l'utilizzo di sistemi facilmente assemblabili/disassemblabili con connessioni reversibili.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Adattabilità funzionale	Moduli prefabbricati	X
	Sub-sistemi sostituibili	V
Reversibilità spaziale	Sistemi assemblabili/disassemblabili	X
	Connessioni reversibili	X

Tabella 11. Tabella riassuntiva delle azioni di adattabilità per il Target 4. Elaborato personale.

Al fine di limitare la produzione di rifiuti, è bene contenere l'utilizzo di prodotti multimaterici per favorire il recupero a fine vita e per evitare processi di separazione. È utile fornire le informazioni necessarie per aumentare la possibilità di riuso o riciclaggio, sfruttare i passaporti dei materiali da costruzione, ridurre l'uso di risorse naturali, valorizzare i rifiuti da differenti filiere ed evitare sostanze pericolose. Per facilitare l'uso circolare delle risorse, si tenta di sviluppare prodotti con il numero minimo di materiali utilizzati, così da poter conferire loro più facilmente una seconda vita, favorendo processi di *upcycling* piuttosto che *downcycling*. È necessario, al fine di incrementare il potenziale di riutilizzo e riciclaggio, fornire le informazioni necessarie alla tracciabilità per rendere trasparente il mix di materiali utilizzati nell'ottica del fine vita, lasciando traccia anche del luogo di produzione, dei flussi di materia e delle metodologie di disassemblaggio o di demolizione selettiva. Quest'ultimo punto è presente nei CAM Edilizia⁶⁵, nei quali è richiesto un piano di disassemblaggio o di demolizione selettiva con elenco dei materiali utilizzati, dei componenti edilizi e dei sistemi prefabbricati, con riferimenti agli scenari di fine vita, all'effetto e al peso di essi rispetto al ciclo di vita dell'edificio. A supporto delle

⁶⁵ CAM Edilizia, approvato con D.M. 11 ottobre 2017. Criterio 2.3.7 relativo al fine vita.

scelte progettuali sarebbe utile produrre passaporti dei materiali e dei sistemi costruttivi per comprendere l'applicazione, lo scopo e la metodologia di smaltimento del prodotto. Sarebbe inoltre utile capire, per mezzo di informazioni tecniche accessibili, come il prodotto viene implementato e connesso. È bene registrare le modifiche apportate e fornire informazioni per agevolare la fase di fine vita. Tutte queste informazioni dovrebbero essere presenti nelle dichiarazioni ambientali dei prodotti, come EPD ed Ecolabel ad esempio. Nei CAM Edilizia⁶⁶ è prevista anche l'analisi delle risorse materiche in fase di input e output, consentita solo per mezzo dell'elenco dei materiali utilizzati con relative quantità. Per ridurre le risorse naturali vengono utilizzate dimensioni ed elementi tecnici standard. Per ridurre gli scarti e diversificare le prestazioni vengono scelti materiali pronti all'uso e prodotti di cui si conoscono gli scenari di fine vita e il potenziale di riuso e riciclaggio. Considerare la possibilità di utilizzare scarti da filiere differenti da quella edilizia può essere un modo per valorizzare i rifiuti. Le filiere sono molte, da quella agroalimentare, forestale, a quella degli pneumatici fuori uso. Denunciare l'utilizzo di sostanze pericolose, soprattutto quelle estremamente preoccupanti (SVHC), è sicuramente un'azione necessaria ai fini della circolarità ma anche della salute umana. Sarebbe consigliato fare una Health Product Declarations⁶⁷, citata nei CAM Edilizia⁶⁸, al fine di monitorare l'utilizzo di additivi a base di cadmio, piombo, selenio, arsenico, mercurio (oltre una percentuale dello 0,01%) e di altre sostanze SVHC elencate ritenute proibite.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Limitare prodotti multimaterici	Prodotti semplici, non composti	V
	Prodotti da processi di upcycling	V
Aumentare potenziale di riuso e riciclaggio	Tracciabilità materiali	V
	Flussi di materia	V
	Piano disassemblaggio e demolizione selettiva	X
Utilizzare passaporti	Scopo prodotto	X
	Metodi di connessione del prodotto	X
	Modifiche del prodotto	X
	Scenario di fine vita del prodotto	X
Ridurre uso risorse naturali	Dimensioni e elementi standard	X
	Materiali con alto potenziale di recupero	V
Valorizzare rifiuti da differenti filiere	Scarti di filiere differenti	V

⁶⁶ CAM edilizia, approvato con D.M. 11 ottobre 2017. Criterio 2.6.6 relativo al bilancio materico.

⁶⁷ Health Product Declarations, dichiarazione di sostanze chimiche potenzialmente pericolose.

⁶⁸ CAM edilizia, approvato con D.M. 11 ottobre 2017. Criterio 2.4.1.3 relativo alle sostanze pericolose.

Evitare sostanze pericolose	Health Product Declarations ⁶⁹	V
-----------------------------	---	---

Tabella 12. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 4. Elaborato personale.

TARGET 5: Squadra di decostruzione e demolizione

Sono le squadre di decostruzione e demolizione a separare e a rendere virtuoso il processo di fine vita di un immobile. Loro è la responsabilità di dividere i rifiuti in inerti e in altri materiali da recuperare. I CAM Edilizia hanno reso obbligatorio il processo di demolizione selettiva, a supporto del quale è stata pubblicata la prassi di riferimento “volontaria” UNI/PdR 75:2020⁷⁰ da parte dell’ente di normazione nazionale. Al fine di ridurre e valorizzare i rifiuti è necessario rendere possibile il recupero attraverso la presenza di strutture specializzate e di filiere circolari, facendo uso di audit pre-decostruzione o pre-sviluppo, applicando tecniche di smantellamento su misura e facendo una selezione preliminare dei rifiuti sul posto. Vanno incentivate le strutture di selezione e di riciclaggio nel circuito regionale e la presenza di demolitori, oltre a prendere in considerazione sconti o sussidi qualora si decidesse di utilizzare materiali riciclati. È importante individuare i materiali di cui è composto l’edificio, gli scenari di smaltimento adeguati e i flussi, al fine di far uso efficace delle informazioni, utilizzando anche strumenti come i passaporti dei materiali. È consigliato definire una roadmap⁷¹ per delineare il processo di smantellamento, i luoghi di destinazione e per separare i rifiuti pericolosi dai rifiuti non pericolosi, organizzando spazialmente lo smistamento.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Condizioni favorevoli	Strutture di selezione e riciclaggio	X
	Sussidi e sconti	X
Uso efficace delle informazioni	Audit pre-decostruzione/sviluppo	X
	Demolizione selettiva	V
	BIM e passaporti dei materiali	X
Smantellamento su misura	Roadmap	X
Selezione preliminare	Sostanze pericolose e non pericolose	V
	Pianificazione smistamento	X

Tabella 13. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 5. Elaborato personale.

⁶⁹ Rapporto di geotecnica ambientale n. 95-2. Programma di Ingegneria Geotecnica Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale- “Use of Scrap Tires in Civil and Environmental Construction”, 10 maggio 1995. Documento che attesta l’assenza di fumi nocivi nella costruzione dell’Earthship.

⁷⁰ UNI/PdR 75:2020 “Decostruzione selettiva - Metodologia per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un’ottica di economia circolare”.

⁷¹ Roadmap, strumento strategico di pianificazione aziendale utilizzato per delineare azioni e scenari futuri.

TARGET 6: Investitori, assicuratori e sviluppatori

Non esistono ancora metodologie consolidate in grado di contabilizzare finanziariamente gli impatti della progettazione circolare sui costi nel ciclo di vita e sul valore dell'edificio. Gli investitori concentrano la propria attenzione sulle attività logistiche che coinvolgono più la scala di quartiere, quindi il trasporto e lo smaltimento dei rifiuti. Gli assicuratori rimangono invece interessati alla localizzazione, quindi al rischio climatico e agli impatti. Maggiore sarà la durabilità, minore sarà il rischio finanziario. I flussi prodotti dall'approccio circolare dovrebbero essere inseriti nell'analisi dei costi LCC⁷². Utile ai fini della durabilità potrebbe anche essere calcolare i costi di decostruzione e il valore residuo dell'edificio in fase di fine vita.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Diminuire rischio finanziario	Promuovere la durabilità	V
Valutare circolarità	LCC	X
	Costo di decostruzione	X
	Valore residuo	X

Tabella 14. Tabella riassuntiva delle azioni di durabilità per il Target 6. Elaborato personale.

Anche l'adattabilità dovrebbe essere contabilizzata finanziariamente riducendo il rischio di insolvenza conferendo valore all'immobile.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Ridurre rischio di insolvenza	Contabilizzare l'adattabilità	X

Tabella 15. Tabella riassuntiva delle azioni di adattabilità per il Target 6. Elaborato personale.

Anche nel caso della riduzione e valorizzazione dei rifiuti viene introdotta la necessità di contabilizzare finanziariamente l'uso di materiali riciclati, riciclabili, riusati o riutilizzabili. Gli investitori e gli assicuratori avrebbero il potere di richiedere requisiti minimi per favorire l'investimento, promuovendo così la circolarità edilizia.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
Promuovere circolarità	Requisiti minimi	X
	Contabilizzare finanziariamente l'uso di materie prime seconde	X

Tabella 16. Tabella riassuntiva delle azioni di riduzione e valorizzazione dei rifiuti per il Target 6. Elaborato personale.

⁷² Attraverso l'analisi LCC è possibile introdurre i "non costi" relativi all'utilizzo di materie prime seconde piuttosto che di materie prime, evidenziando e confrontando le alternative nel corso dell'intero ciclo di vita. Tuttavia è necessario sottolineare come il vantaggio dei principi di edilizia circolare abbia valore non soltanto finanziario ma quanto più relativo alla qualità della vita e alla tutela ambientale. Nel quadro imprenditoriale, oltre a far uso di strumenti tecnici come l'analisi LCC, sarà indispensabile utilizzare business plan non più concepiti sugli schemi tradizionali ma in grado anche di integrare i valori dell'economia circolare e della sostenibilità ambientale.

TARGET 7: Governi, Autorità e Pubbliche Amministrazioni

Questo target ha il compito di poter costruire un quadro normativo e legislativo stabile attraverso incentivi, politiche, standard e normative. Tra i principi su cui dovrebbe basarsi l'intervento di questo target, troviamo la necessità di promuovere la reversibilità, il riciclaggio, il recupero, lo sviluppo, l'innovazione di tecnologie che favoriscano il minor impatto lungo l'intero ciclo di vita e infine le strategie circolari. È necessario che questo target sensibilizzi anche riguardo al tema della valutazione e quantificazione di prestazioni ambientali, integrando dove possibile i principi dell'economia circolare, così come dovrebbe esser fatto nel caso dei Criteri Minimi Ambientali. Riassumendo, vengono ipotizzate quattro modalità operative: regolare attraverso la legislazione, realizzare per mezzo degli appalti pubblici, stimolare con incentivi ed incoraggiamenti alla sperimentazione e, in ultimo, ispirare attraverso la diffusione di buone pratiche e di leadership.



Figura 33. Rappresentazione che riassume le quattro modalità operative adottabili dal Target 7.

Tratta da "Linee guida per la progettazione circolare di edifici", GBC Italia, 2020.

Tra le azioni orientate a **regolare** vi è la necessità di creare un database e degli archivi digitali, di individuare e integrare gli indicatori di impatto rilevanti, di adottare un approccio circolare, di promuovere le politiche che sostengono il riutilizzo e il riciclaggio, di ridurre il numero di discariche, di favorire la demolizione selettiva riducendo anche il contenuto di sostanze pericolose, di promuovere attività di riparazione piuttosto che di sostituzione, di implementare nuovi modelli di business al fine di costruire un nuovo mercato, di far attenzione al concetto di ciclo di vita e di promuovere il reperimento locale di materiali. In quanto al **realizzare** bisogna monitorare l'applicazione corretta del Green Public Procurement, valutare gli impatti ambientali, promuovere l'utilizzo di strumenti come "BAMB, Reversible Buildin Design"⁷³, in grado di produrre indicatori utili a valutare il potenziale di riutilizzo e la capacità di trasformazione

⁷³ BAMB, Reversible Buildin Design, progetto iniziato nel 2015 e orientato alla valorizzazione dei materiali da costruzione al fine di donare loro più vite utili. Progetto basato sui principi di edilizia circolare.

di un edificio, e, ancora, utilizzare schemi di valutazione come lo standard ISO per il *Design for Decostruction*. Per **stimolare** invece è utile pubblicare linee guida, favorire progetti flessibili, reversibili e disassemblabili, incrementare la qualità del progetto attraverso controllo e manutenzioni, infine, stimolare la produzione di materiali circolari. Al fine di **ispirare** è consigliato promuovere l'uso di linee guida e di strumenti come ad esempio le norme ISO e EN, la metodologia BIM, le analisi LCA e LCC, lo standard europeo di valutazione Level(s), il protocollo Reversible Building Design (RBD⁷⁴), le analisi costi-benefici e, come anticipato, le norme ISO per DfD/A, oltre a proporre riflessioni su quelli che sono i possibili scenari di fine vita degli edifici.

OBIETTIVI	AZIONI	EARTHSHIP
REGOLARE	Database e archivi	X
	Integrare indicatori rilevanti	X
	Approccio circolare	V
	Promuovere riciclaggio e riuso	V
	Ridurre discariche	V
	Demolizione selettiva	X
	Riduzione sostanze pericolose	V
	Attività di riparazione	V
	Nuovi modelli di business	X
	Ciclo di vita	X
	Km 0	V
REALIZZARE	GPP	V
	Indicatori di circolarità	X
	LCC e LCA	X
	ISO per DfD	X
STIMOLARE	Linee guida per la sostenibilità	V
	Multifunzionalità	V
	Disincentivare l'obsolescenza	V
	Materiali circolari	V
ISPIRARE	Linee guida progettuali e decisionali	X
	Norme EN, ISO e ISO per DfD/A	X
	LCA, Level(s), RBD	X
	Analisi costi benefici	X
	BIM	X

Tabella 17. Tabella riassuntiva delle azioni proposte per il Target 7. Elaborato personale.

⁷⁴ Reversible Building Design (RBD), progettazione di edilizia reversibile sviluppata nell'ambito del progetto BAMB.

3.2 Matrice di circolarità dell'Earthship

Con l'intento di voler costruire una Earthship anche in Italia [Vedi Capitolo "2.4 L'Earthship in Italia"], risulta necessario chiedersi quanto un edificio nato in un contesto come quello del deserto del Nuovo Messico nel 1970 possa rispettare le linee guida descritte nel documento redatto dal GBC Italia a settembre 2020 [Vedi Capitolo "3.1 Linee guida per la progettazione circolare"] potendo così ricoprire il ruolo che sembra appartenergli di manifesto di circolarità. Descriviamo questo modello abitativo andando a individuare i punti di forza, quindi le voci in cui il progetto Earthship sembra rispettare le linee guida descritte nel documento del GBC Italia, le criticità, quindi le voci in cui il progetto Earthship non rispetta le linee guida del documento, i passi da compiere e le possibili soluzioni migliorative, ovviamente nel completo rispetto del progetto originale dell'architetto Mike Reynolds.

PUNTI DI FORZA	CRITICITÀ
Prodotti di qualità certificata	Piano di manutenzione e KPI
Istruzioni per la corretta manutenzione	Piano di investimento Capex
Ottimizzazione energetica	Partnership sviluppo prestazionale
Gestione centralizzata	Dataroom virtuale (DRV)
Piano di riparazione	Sistemi hw e sw
Portale web e guida utente	BIM, passaporto edificio e materiali
Ambienti open space	Progettazione modulare e reversibile
Materiali durevoli e resistenti	Business plan previsionale
Diversi scenari di utilizzo	Documento "As-built"
EPD e tracciabilità	Registro o fascicolo dell'edificio
Materia prima seconda a km0	Design for Disassembly/Assembly (DfD/A)
Schede tecniche e documenti	Analisi LCC e LCA
Scarti di filiere differenti	Pianificazione fine vita e smistamento
Materiali con alto potenziale di recupero	Embodied Energy e Embodied Carbon
Health Product Declarations	Pianificazione attività di cantiere
Approccio circolare	Audit pre-demolizione
Intento di ridurre le discariche	Connessioni reversibili
Magazzini materiale di scarto	Product as a service e scenari di fine vita
Manuale costruttivo	Certificazioni: LEED, Level(s),..
	NTC

Tabella 18. Sintesi dei punti di forza e delle criticità riscontrate analizzando l'Earthship sulla base delle linee guida per la progettazione circolare [GBC Italia, 2020]. Elaborato personale.

Tra le quattro strategie per l'applicazione dei principi dell'economia circolare in edilizia, il progetto Earthship potrebbe rientrare nella quarta tipologia relativa all'approccio definito *Design for Durability/Flexibility*⁷⁵, riguardante la progettazione del nuovo basata sul principio di flessibilità e durabilità. Il progetto in questione infatti non presenta intenti di progettazione che prevedano un disassemblaggio a fine vita. Pur non presentando *business plan* previsionali, il progetto Earthship è pensato per durare e per essere flessibile nei suoi scenari di utilizzo, prevedendo ambienti open space adattabili a differenti usi. È completamente progettato nell'ottica di ridurre l'impatto ambientale sostenendo la tutela. Tra gli obiettivi del progetto vi è quello di incentivare l'approccio circolare, riducendo così il numero di discariche. Il progetto Earthship prevede l'utilizzo di risorse certificate, quanto più durevoli e possibilmente non prime, rintracciabili a km 0 e provenienti da filiere differenti da quella edilizia (pneumatici fuori uso, bottiglie e lattine di vetro, plastica o alluminio). Durante la fase di progettazione, l'associazione Earthship Biotecture organizza le *Academy*, dei corsi teorici e pratici utili a comprendere il funzionamento delle Earthship e a promuovere la partecipazione durante la fase di costruzione, impartendo indirettamente linee guida sulla manutenzione: conoscendo il funzionamento di un prodotto, più facile sarà capire come gestirlo. Stesso discorso per l'ottimizzazione energetica: capendo il sistema impiantistico, più intuitivo sarà capire come prolungarne la vita utile. Il valore dell'Earthship nasce già in fase progettuale, basandosi essa sui principi della bioclimatica e essendo in grado di autoregolarsi naturalmente nonostante l'assenza di sistemi BMS. La gestione delle prestazioni e la conduzione degli spazi è a carico del proprietario, quindi centralizzata. L'Earthship è interamente fondata su concetti di circolarità che prevedono interventi di riparazione e di riduzione dei rifiuti, piuttosto che di sostituzione, pur mancando un piano di manutenzione e un inventario delle parti riutilizzabili del manufatto. È prevista la creazione di un albo di fornitori composto da ditte qualificate, anche se attualmente manca la possibilità di partnership con i fornitori essendo il mercato dell'economia circolare ancora in fase di sviluppo. I progettisti sono stati attenti a fornire una Health Product Declarations, dal momento che molti sono stati gli interrogativi riguardo alle emissioni di gas nocivi dagli pneumatici fuori uso. Pur non presentando documenti as-built o fascicoli dell'edificio in cui annotare eventuali modifiche, un aspetto positivo è che l'Earthship è concepita per persone consapevoli delle necessità annunciate dall'Agenda 2030, quindi complici rispetto

⁷⁵ Tra le strategie per l'applicazione dei principi di economia circolare troviamo: 1. L'approccio end-of-life, che prevede la demolizione selettiva e la gestione a fine vita dei rifiuti da demolizione; 2. L'approccio end-of-life, che prevede la riqualificazione al posto della demolizione; 3. L'approccio progettuale del *Design for disassembling* nella progettazione del nuovo; 4. L'approccio progettuale del *Design for durability/flexibility* nella progettazione del nuovo.

agli obiettivi di sviluppo sostenibile. Nonostante la presenza di un sito web di supporto, quello dell'associazione Earthship Biotecture, manca un portale web per gli utenti relativo allo specifico immobile. Viene sicuramente promossa la partecipazione di tutti i portatori d'interesse senza però che vengano approfonditi nuovi modelli di business come il Product as a Service. Nel progetto Earthship non vengono utilizzati elementi modulari e standardizzati, questo per far sì che siano le prestazioni dell'edificio a dettare la natura del materiale da costruzione e non che siano questi ultimi a dettare la natura dell'abitazione. Non avendo ancora definito una *roadmap* e le componenti del manufatto, non è stata creata una *dataroom* virtuale contenente le schede tecniche relative alle componenti edilizie e impiantistiche, non è stato prodotto alcun modello BIM, non sono stati progettati sistemi di tracciamento di materiali e prodotti per mezzo di Qr Code e tag, non è stato programmato un piano di investimento orientato al mantenimento e al miglioramento del manufatto e non è stato ancora eseguito un piano di manutenzione che preveda capitolato dei lavori e indici di prestazione. Non sono state progettate e fatte valutazioni di tipo LCC e LCA e non sono stati usati strumenti in grado di creare passaporti di prodotti, di materiali e del manufatto stesso. Tra gli strumenti per l'edilizia circolare, oltre alla mancanza di certificazioni, di passaporti dei materiali, del *Design for Disassembling*, della disponibilità di un modello BIM e di analisi di tipo "life cycle", manca nel progetto Earthship anche l'audit pre-demolizione. Tra le criticità che non dipendono direttamente da scelte progettuali, evidenziamo la mancanza di strutture specializzate nel riciclaggio o nei processi caratterizzanti le filiere circolari e la contabilizzazione dei benefici della circolarità. Partendo dal resoconto di quest'analisi, si è fortificata l'idea di voler produrre un modello BIM. Se inizialmente le motivazioni riguardavano esclusivamente la possibilità di creare un archivio digitale modificabile e aggiornato nel corso del ciclo di vita, in seguito a queste ultime considerazioni i motivi per cui creare tale modello risultano moltiplicati. Il BIM viene riconosciuto dal GBC Italia come mezzo strategico per il raggiungimento dei principi di edilizia circolare. È infatti proprio grazie alla metodologia BIM che il concetto di ciclo di vita viene realmente integrato nella progettazione edilizia. Attraverso questo modello digitale sarà possibile colmare molte delle criticità riscontrate nell'Earthship rispetto alle linee guida proposte. Il modello potrà svolgere la funzione di *dataroom* virtuale offrendo anche la possibilità di produrre documenti "as built", audit pre-demolizione e passaporti dei prodotti, dei materiali e dell'edificio stesso. Attraverso

la metodologia BIM sarà anche possibile gestire l'intero ciclo di vita predisponendo piani di manutenzione o di investimento e progettando le fasi di riqualificazione o dismissione. Il modello BIM offre la possibilità di avere una visione d'insieme ed è rivolto a tutti coloro che devono progettare, costruire, gestire, trasformare e dismettere edifici. Avendo osservato i punti di forza e le criticità, ipotizziamo una matrice riassuntiva e semplificata che individui schematicamente il potenziale di circolarità dell'Earthship, ricavando la percentuale di efficacia⁷⁶ per ogni target e per ogni principio. Quest'operazione ci consentirà di individuare il margine di miglioramento del progetto. Osservando la

Potenziale di circolarità dell' Earthship							
	Target 1	Target 2	Target 3	Target 4	Target 5	Target 6	Target 7
Durabilità	50%	25%	50%	43%		25%	
Adattabilità	20%	25%	0%	25%		0%	
Riduzione e valorizzazione dei rifiuti	70%	50%	33%	54%	25%	0%	
Totale	50%	33%	50%	50%	25%	25%	46%
							40%

Tabella 19. "Matrice di circolarità". Elaborato personale.

matrice riportata nello Schema 20, ci rendiamo conto di come nel complesso l'Earthship difficilmente possa rientrare tra gli edifici classificati come circolari, avendo essa un'efficacia non troppo elevata (40% circa) causata dal peso delle criticità. Tuttavia, prestando attenzione all'ampio margine di miglioramento e forti della convinzione che molti degli aspetti mancanti possano essere risolti attraverso l'utilizzo della metodologia BIM, procediamo con la creazione del modello digitale dell'Earthship. Pur risolvendo molte criticità, è necessario sottolineare come alcuni aspetti rimangano però senza soluzione. Non sarà infatti il supporto del BIM a rivedere le scelte sul *Design for Disassembly/ Assembly* o a far sì che gli pneumatici fuori uso vengano integrati nelle NTC. Attraverso la metodologia BIM sarà però possibile ipotizzare facilmente soluzioni alternative al progetto tradizionale, così da ottenere un prototipo conforme alle linee guida per l'edilizia circolare caratterizzato allo stesso tempo dai sei principi su cui si fonda l'Earthship.

⁷⁶ Percentuale di efficacia: percentuale ottenuta rispetto al numero di "punti di forza" presenti per ogni principio e per ogni target. Esempio: Target 1, Principio di durabilità: 14 linee guida, 7 "punti di forza" (spunte positive) quindi 7 azioni conformi alle linee guida. Dalla proporzione "14:100=7:x" troviamo il valore x= 50, ovvero 50%. Effettuiamo poi lo stesso calcolo per i restanti principi di adattabilità e riduzione dei rifiuti. Per calcolare la percentuale totale di efficacia relativa al Target 1, sommiamo le percentuali per ciascun principio e procediamo con la proporzione "(50+20+70):x=300:100" ricavando x= 50, quindi sempre 50%. Per ricavare il potenziale di circolarità (40% circa) facciamo una media aritmetica tra le percentuali totali.

4. Strumenti per l'Edilizia Circolare

Avendo approfondito e giustificato il fine di questa tesi, esaminiamo adesso i mezzi, quindi gli strumenti per l'edilizia circolare offerti dall'industria 4.0. Introduciamo i concetti di Building Information Modeling e di Visual Programming Language.

4.1 Building Information Modeling

Nel contesto della progettazione edilizia, con il BIM osserviamo la transizione da un modello tradizionale a un modello innovativo basato sulla condivisione dei dati e sull'interoperabilità. Il cambiamento radicale ottenuto con il passaggio da CAD a BIM è basato sulle informazioni: il BIM, a differenza del CAD⁷⁷, non si limita alla rappresentazione geometrica ma bensì integra in essa le informazioni tecniche e funzionali.

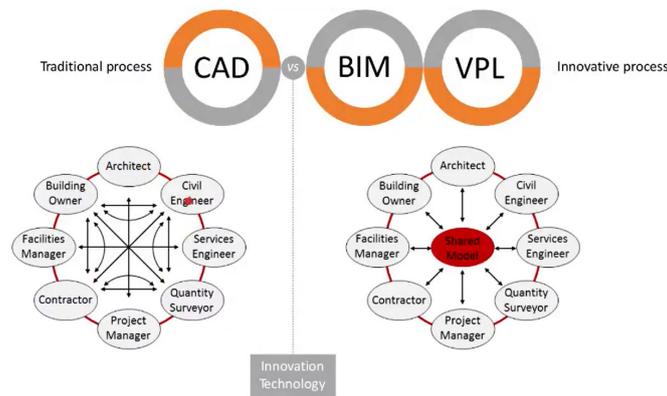


Figura 34. Rappresentazione che riassume le differenze tra CAD e BIM nella gestione del processo.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

L'acronimo BIM deriva da *Building Information Modeling* e descrive la metodologia attraverso cui viene prodotta una rappresentazione digitale di un processo costruttivo. Tuttavia l'acronimo può anche esser usato per *Building Information Model*, ovvero la rappresentazione digitale del progetto, o per *Building Information Management*. La metodologia BIM sembra essere il risultato della somma tra il Building Information Model e l'interoperabilità, intesa come capacità di scambiare informazioni tra le persone e tra i software. L'interoperabilità può essere verticale,

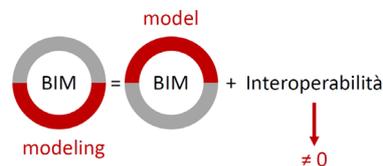


Figura 35. Rappresentazione della formula del BIM. Il BIM come risultato della somma tra il modello BIM e l'interoperabilità.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

⁷⁷ CAD, Computer Aided Design, metodologia maggiormente utilizzata nella progettazione architettonica. Differente dal BIM per molti motivi, tra questi il fatto di non essere collaborativa.

quando riguarda lo scambio di informazioni tra software utilizzati a fini differenti ma complementari, e orizzontale, quando lo scambio avviene tra programmi con la stessa finalità ma di produttori differenti. L'interoperabilità riguarda lo scambio di dati ma anche l'organizzazione dell'intero processo, essendo questa condizionata da posizioni non solo tecniche ma anche di interesse economico. Nel processo caratterizzante la metodologia BIM vengono previste tre fasi di progetto⁷⁸: la fase *As Designed*, la fase *As Built* e la fase *As Is*. Nella prima fase viene realizzato il modello geometrico, nella seconda viene implementato il modello con le informazioni specifiche riguardanti le componenti e, nella terza, vengono aggiunte le informazioni riguardanti la fase di conservazione e manutenzione, quindi informazioni sul ciclo di vita.

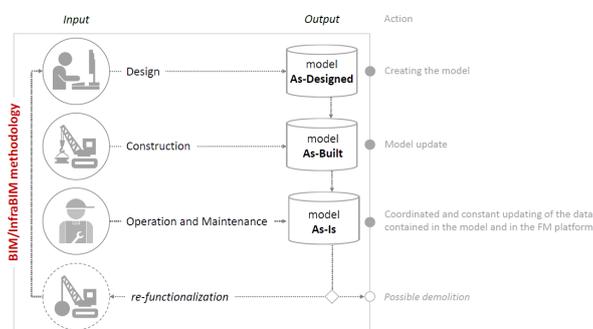


Figura 36. Rappresentazione delle fasi di progetto previste nella metodologia BIM. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

Parallelamente alle fasi di progetto troviamo le sette dimensioni del BIM, le quali vengono definite in base all'obiettivo che si vuole raggiungere. In fase di progettazione solitamente si parte con la dimensione tridimensionale, caratterizzata dalla rappresentazione geometrica. La quarta dimensione riguarda invece la gestione del tempo, la quinta è relativa alla stima dei costi, la sesta valuta la sostenibilità ambientale e infine troviamo la settima, riguardante il *Facility Management*⁷⁹ (queste



Figura 37. Rappresentazione delle dimensioni del BIM. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

⁷⁸ Le tre fasi di progetto previste dalla metodologia BIM (*As Designed*, *As built* e *As Is*) sono rispettivamente i modelli ottenuti dalla fase di progetto, costruzione e manutenzione.

⁷⁹ *Facility Management*, processo di gestione svolto in fase manutentiva [Osello, A. & Acquaviva, A. (2015). *Building Information Modelling, Geographic Information System, Augmented Reality per il Facility Management*. pp 13. Palermo. Flaccovio].

ultime due dimensioni talvolta vengono invertite). Nel futuro prossimo avremo modo di osservare altre tre dimensioni: l'ottava, relativa alla riduzione degli incidenti in fase di cantiere, la nona, riguardante la *Lean Costruction*⁸⁰, quindi le considerazioni sulla circolarità e sulla catena del valore, e la decima, basata sull'industrializzazione delle costruzioni. Per ciascuna di queste fasi e dimensioni, dipendentemente dagli obiettivi, esistono possibili livelli di dettaglio che prendono il nome di LOD, *Level of Development* o *Level of Detail*⁸¹. Vengono definiti i parametri LOD al fine di indicare il livello di dettaglio raggiunto nelle rispettive fasi di progetto. I LOD derivano dalla sommatoria dei LOG e dei LoI, ovvero dei *Levels of Geometry* e dei *Levels of Information*. Sono molti gli standard riguardanti questi concetti, tra questi quello americano "AIA", quello inglese "bsi" e gli standard "UNI" e "ISO". Secondo lo standard americano "AIA", i LOD vengono classificati con numeri da 100 a 500 e in tal caso l'acronimo LOD sta per *Level of*

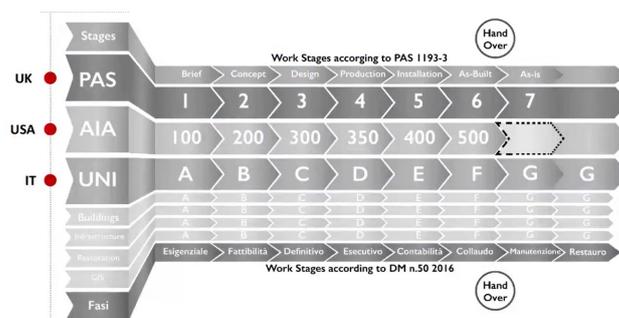


Figura 38. Rappresentazione degli standard relativi ai LOD.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

Detail, se riferito al livello di dettaglio raggiunto relativamente alla geometria, o per *Level of Development*, se riferito al dettaglio raggiunto relativamente alle informazioni. Solitamente il *Level of Detail* è elevato in fase *As Designed* al contrario del *Level of Development*, elevato in fase *As Built*. Nello standard inglese "bsi", i LOD vengono codificati con numeri interi da 1 a 7, mentre, nello standard italiano "ISO", con lettere da A a G, in cui G definisce il livello ultimo di dettaglio in fase *As Is*. I LOD vengono distribuiti nella progettazione in base alla scala di rappresentazione utilizzata e in base alla dimensione che si vuole rappresentare. Altri indicatori caratterizzanti un modello *bim-oriented* potrebbero essere i LOR, *Level of Reliability*, definiti nella fase finale di progetto e funzionali nel processo di interpretazione delle informazioni, seguito da una sintesi critica. Tramite i LOR viene definito il grado di

⁸⁰ *Lean Costruction*, ovvero l'ottimizzazione della catena di produzione e dei processi edilizi [Chuck, E. & (a cura di) Di Giuda, G.M. & Villa, V. (2016). *Il BIM : guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. pp. 308-311. Milano. Hoepli].

⁸¹ *Level of Development* o *Level of Detail* (LOD), rispettivamente livello di sviluppo e livello di dettaglio. Indicatori di precisione [Osello, A. & Acquaviva, A. (2015). *Building Information Modelling, Geographic Information System, Augmented Reality per il Facility Management*. p 21. Palermo. Flaccovio].

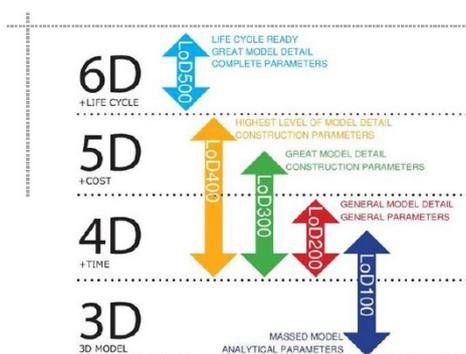


Figura 39. Rappresentazione dei LOD nelle dimensioni del BIM. Tratta da Osello, A. (2021). Parametric and algorithmic modeling.

attendibilità del progetto. Essi solitamente sono a carico del progettista e prevedono analisi orientate a investigare la qualità delle informazioni ottenute relative all'edificio e a ogni sua componente. I LOR⁸² vengono

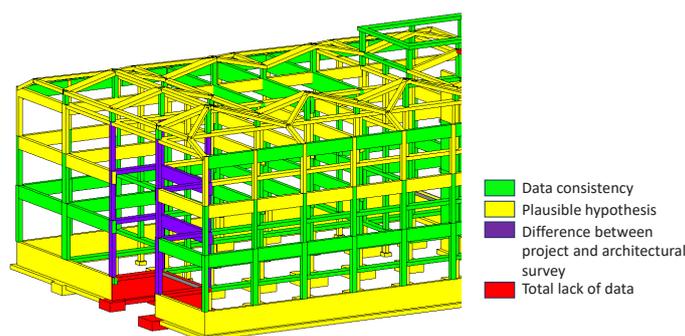


Figura 40. I LOR di un edificio rappresentati attraverso colori. Tratta da Osello, A. (2021). Parametric and algorithmic modeling.

codificati attraverso numeri o colori. Al fine di introdurre metodi e strumenti elettronici, tra cui anche la metodologia BIM, in Italia è stato pubblicato il decreto n. 560 del 1° dicembre 2017, successivamente modificato con il decreto n. 312/2021. Tra gli obiettivi del decreto n.560 vi è l'adozione della metodologia BIM per tutte le tipologie di progetto entro il 2025. Lo stesso intento è stato adottato dal Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti con l'attuazione dell'articolo 23, comma 13⁸³, del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, "Codice dei contratti pubblici" (D. Lgs. n 50/2016, Articolo 23, Paragrafo 13). Uno dei più grandi vantaggi del BIM è la capacità di quest'approccio di dare una

⁸² Level of Reliability (LOR), indicatori di attendibilità di un modello. [UID, Unione Italiana per il Disegno, (a cura di) Belardi, P. (19-20-21 settembre 2019). *Riflessioni. L'arte del disegno/Il disegno dell'arte*. In occasione del 41° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione congresso della unione italiana per il disegno. pp 292-293. Perugia. Gangemi International].

⁸³ Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, Codice dei contratti pubblici, riguardante la strategia di digitalizzazione delle amministrazioni pubbliche e del settore delle costruzioni.

visione d'insieme dell'intero ciclo di vita dell'edificio e del progetto stesso. La metodologia BIM facilita la trasmissione delle informazioni, ottimizzando i tempi e abbattendo i costi, migliora la pianificazione e la fase di *Facility Management*, garantisce un miglior controllo sui sistemi, andando a incidere positivamente sulle strategie di manutenzione, conferisce la possibilità di utilizzare la realtà virtuale e aumentata (AR, VR)⁸⁴, al fine di comunicare opportunamente con il committente, ed è indispensabile per far dialogare i sistemi di controllo integrati (BMS, Iot, CAFM)⁸⁵. I passi da seguire, rispettivamente a questo nuovo metodo di rappresentazione tecnico degli edifici, prevedono quattro azioni: l'identificazione dei problemi e degli obiettivi da raggiungere; l'ideazione del modello BIM basato su tutte le discipline implicate; l'analisi, volta a verificare l'andamento del progetto, ed eventuali miglioramenti; infine, l'attuazione. A questi quattro passi è possibile aggiungere il quinto riguardante la produzione di documentazione in fase di gestione e manutenzione. Molte sono le applicazioni a partire dal BIM: l'HBIM per gli edifici storici, l'InfraBIM per la parte strutturale, il DIM, che combina il Building Information Model con le informazioni riguardanti il distretto in cui è collocato l'edificio, il LIM per quanto riguarda il paesaggio circostante, il GeoBIM, il GreenBIM e infine il *Digital Twin*, quando il modello BIM dialoga con sensori posti all'interno dell'edificio e diventa in grado di gestire informazioni in tempo reale. Tra i software BIM più conosciuti citiamo Autodesk Revit, utilizzato ai fini della tesi, Tekla, Allplan, Graphisoft Archicad, Acca e molti altri. Le dimensioni del BIM, rese accurate per mezzo dell'interoperabilità, rendono questa metodologia uno strumento indispensabile per l'edilizia circolare, trovando collocazione anche in alcuni obiettivi proposti dall'Agenda 2030, quali il numero 4, sulla qualità dell'istruzione, e il numero 9, riguardante le imprese, l'innovazione e le infrastrutture. Con il BIM si assiste quindi all'incontro tra quarta rivoluzione industriale e sviluppo sostenibile nel mondo dell'edilizia.



Figura 41. I 2 traguardi dell'Agenda 2030 raggiunti per mezzo della metodologia BIM.
Tratta da sito web: "<https://www.agenziaconsione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>".

⁸⁴ Realtà aumentata (AR) e di realtà virtuale (VR).

⁸⁵ Building Management Systems (BMS), Internet of Things (Iot), Computer Aided Facility Management (CAFM).

4.1.1 Autodesk Revit

Autodesk Revit è uno strumento *bim-oriented* capace di ottimizzare la progettazione durante l'intero ciclo di vita. Supporta la modellazione 3D, le analisi di tipo "life cycle", la fabbricazione e la costruzione dell'edificio. Partendo dalla modellazione 3D sarà possibile modificare automaticamente piante, sezioni e prospetti, lasciando agire l'automazione, quando possibile. Essendo la metodologia BIM basata sull'interoperabilità è necessario stabilire le regole comuni per la gestione delle informazioni e questo avviene attraverso la creazione di un *template*⁸⁶ contenente gli standard che tutti gli attori coinvolti dovranno rispettare. Sono due i formati di revit, quello del template (rte), utilizzato in fase iniziale, e quello di progetto (rvt). Le modalità di visualizzazione del database presente all'interno del programma sono differenti: vi sono le piante, le sezioni, i prospetti, gli abachi, le tavole e

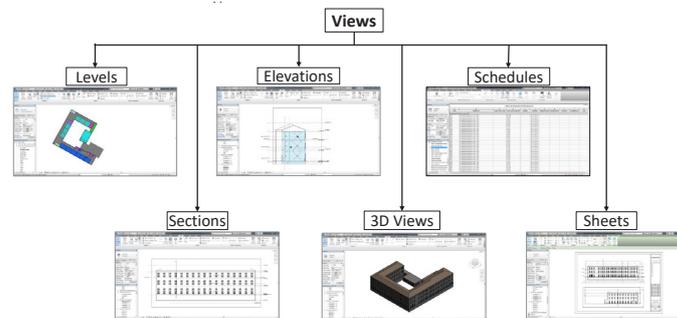


Figura 42. Rappresentazione delle modalità di visualizzazione proposte da Revit.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

la vista 3D. In fase di creazione del progetto vengono inseriti gli oggetti parametrici, classificati da Revit in categorie, famiglie e tipi. Le famiglie servono a individuare gli elementi principali della progettazione: esse possono essere famiglie di sistema, quindi già presenti all'interno

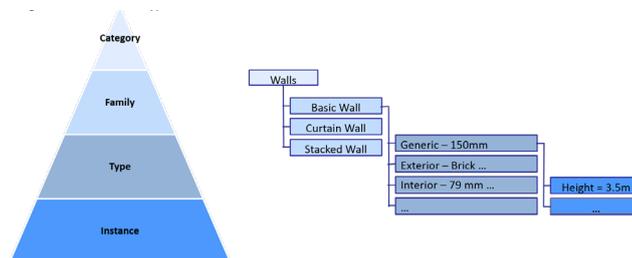


Figura 43. Rappresentazione della classificazione degli oggetti parametrici su Revit.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

⁸⁶ Template, ambiente di lavoro su Revit con specifiche impostazioni progettuali, specifiche famiglie, annotazioni e etichette.

del programma, all'interno dei rispettivi *template*; famiglie caricabili, quindi create esternamente secondo un formato esterno (rfa) e importate nel file Revit (rvt); o infine, famiglie "sul posto", quindi elementi unici progettati all'occorrenza. La prima tipologia di famiglia si riferisce principalmente agli elementi primari (muri, scale, copertura, etc), la seconda tipologia alle componenti secondarie (porte, finestre, terminali, etc) e infine la terza tipologia agli elementi personalizzati di qualsiasi categoria. Oltre alle categorie, alle famiglie e ai tipi, anche i parametri ricoprono una funzione fondamentale all'interno del software. I parametri possono essere globali, condivisi o di progetto: i primi sono specifici di ciascun file di progetto e non vengono assegnati alle categorie, come invece avviene per i parametri di progetto; i parametri condivisi vengono attribuiti a famiglie o al progetto e provengono da un file indipendente esterno. Le informazioni definite in un progetto, o in una famiglia per mezzo di un parametro condiviso, non verranno automaticamente attribuite ad altri progetti o ad altre famiglie, sarà quindi necessario definirle di progetto in progetto. Oltre alla possibilità di creare modelli architettonici, Revit permette l'interoperabilità con attori esperti anche in settori come la modellazione meccanica e strutturale. Per promuovere la collaborazione tra i software, è possibile progettare il *worksharing* suddividendo il progetto in *workset* da assegnare agli attori coinvolti. Creando un modello centrale, tutti gli attori potranno lavorare nel proprio file locale, sincronizzandolo al termine con il file centrale, visibile dal resto del team di progetto. Sarà così possibile garantire la collaborazione simultanea. A tal fine viene anche predisposto in fase iniziale un Common Data Environment (CDE), ovvero una piattaforma in cui raggruppare il materiale mettendolo a disposizione di tutti i progettisti. È nel CDE, ad esempio Dropbox, che vengono caricati i file locali da sincronizzare con il modello centrale. Il CDE prende il nome di ACDat in Italia ed è normato dalla UNI 11337-1⁸⁷.

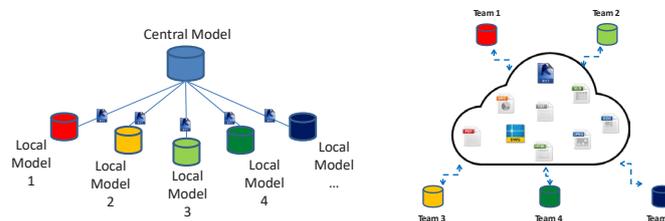


Figura 44. Rappresentazione del *worksharing* secondo la metodologia BIM e del concetto di Ambiente Condivisione Dati ACDat.

Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

⁸⁷ UNI 11337-1, viene introdotto il concetto di "ambiente di condivisione dati" (ACDat) e "archivio di condivisione documenti" (ACDoc), equivalenti, nelle norme britanniche PAS, rispettivamente a "Common Data Environment" (CDE) e "Data Room".

4.2 Visual Programming Language

Al fine di ottimizzare la gestione di geometrie complesse, di personalizzare oggetti, svolgere analisi, automatizzare informazioni e visualizzare più chiaramente i dati per poi gestirli, introduciamo il concetto di pensiero computazionale e di Visual Programming Language. Il pensiero computazionale sta alla base dell'informatica e

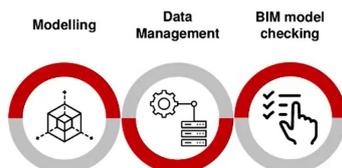


Figura 45. Rappresentazione che riassume gli obiettivi del Visual Programming Language. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

si articola in tre fasi: la prima fase di analisi del problema, la seconda in cui viene definito l'algoritmo e la terza in cui viene testato il corretto funzionamento dell'algoritmo. Lo strumento attraverso cui rendere concreti i concetti del pensiero computazionale è il *coding*⁸⁸, quindi la capacità di progettare sistemi orientati alla risoluzione del problema. Il *coding*, o programmazione informatica, si serve di linguaggi di programmazione⁸⁹ che possono essere testuali, qualora implicino l'utilizzo di editor di testo, o visivi, qualora le istruzioni non fossero scritte ma rappresentate graficamente attraverso blocchi. Il linguaggio

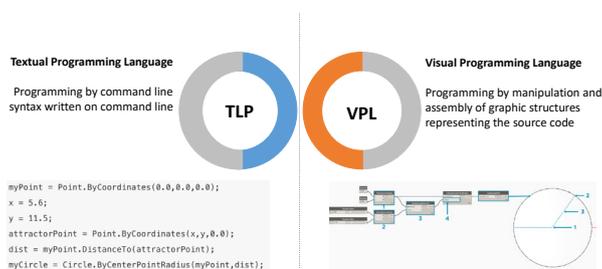


Figura 46. Rappresentazione schematica della differenza tra linguaggi di programmazione testuali, TPL, e visivi, VPL. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

di programmazione visuale a blocchi, anche conosciuto con l'acronimo VPL, Visual Programming Language, interpreta ed esegue il codice attraverso blocchi sequenziali. La programmazione non avviene attraverso la scrittura di codici bensì per mezzo della disposizione in sequenza di tali blocchi, ciascuno dotato di una specifica funzione.

⁸⁸ *Coding*, programmazione informatica orientata allo sviluppo di software allo scopo di risolvere problemi e migliorare la qualità di vita.

⁸⁹ Tra i linguaggi di programmazione troviamo quelli testuali, ottenuti per mezzo della scrittura di un codice (Python ad esempio), o quelli visivi, tramite manipolazione grafica (Scratch o Dynamo ad esempio).

Attraverso il VPL è possibile quindi creare una sintassi a partire da nodi e algoritmi, senza scrivere il codice e traducendo la complessità in informazioni elementari: tutto ciò prende il nome di *Computational Design*. Se con il CAD vengono usate le linee e con il BIM gli oggetti, con il VPL vengono utilizzati oggetti grafici contenenti un codice informatico. Questo strumento innovativo, integrato ai software BIM, permette di raggiungere un livello di dettaglio elevato (LOD 400⁹⁰) abbattendo i costi e riducendo i tempi. Concretamente, il progettista deve inserire nella piattaforma VPL le condizioni di progetto in base a quel che si vuole progettare e per mezzo di parametri riguardanti la geometria, le strutture, i vincoli, le relazioni reciproche, i materiali e i costi, dando poi la possibilità agli algoritmi di generare le soluzioni possibili. Per inserire i parametri il progettista attinge dalla libreria del software, implementabile in ogni momento dal web o conoscendo linguaggi di programmazione testuale, tra i più comuni Python. Ottenute le soluzioni, una fase fondamentale è quella di analisi e di affinamento dei parametri inseriti, così da giungere facilmente alla soluzione desiderata. Riportiamo un esempio di progettazione per mezzo del Visual Programming Language per dare un'idea visuale di che cosa ci sia dietro ad esempio ad un elemento architettonico. Sulla

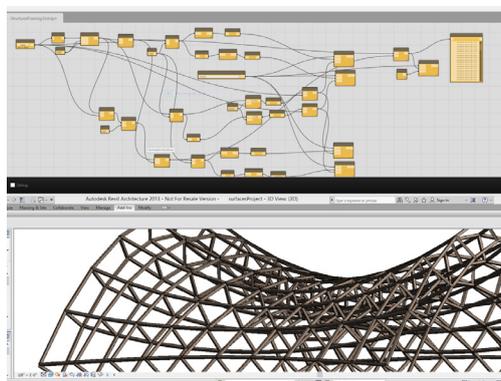


Figura 47. Rappresentazione che riassume il concetto di Visual Programming Language.
Tratta da sito web: "<https://constructionreviewonline.com/installations-materials/improving-bim-workflow-with-dynamo-revit-plugin/>".

base di questo modello, costruito a partire da parametri accuratamente selezionati e non da geometrie fisiche reali, sarà possibile modificare la geometria in base all'incidenza del sole, in base alla propagazione del suono o in base alle prestazioni strutturali. Molte sono le interfacce di programmazione relative al VPL, tra le più conosciute citiamo Autodesk Dynamo, utilizzato ai fini della tesi, e Grasshopper.

⁹⁰ LOD 400, da Standard Americano AIA.

4.2.1 Autodesk Dynamo

Autodesk Dynamo è l'interfaccia di programmazione grafica utile a integrare il software Autodesk Revit. Come per tutte le *Application Programming Interface*⁹¹, Dynamo è organizzato in blocchi colorati, utili

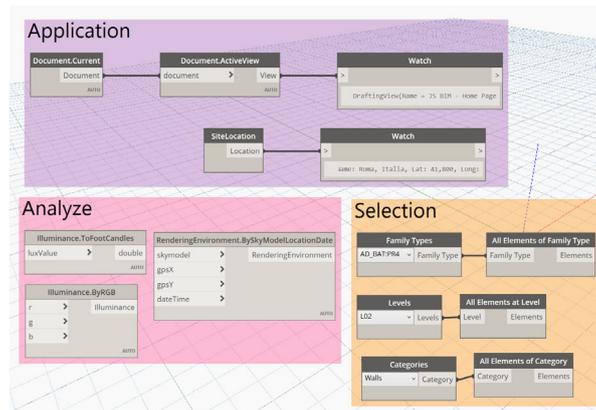


Figura 48. Rappresentazione dei blocchi colorati utilizzati su Dynamo per ordinare la sintassi. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

a scomporre concettualmente la sintassi. Quest'ultima è gestita per mezzo di "freccette" e si articola in nodi, al cui interno vi sono elementi organizzati in liste, codici e parametri. Un nodo è caratterizzato da voci di input e voci di output. L'interfaccia di Dynamo presenta uno spazio

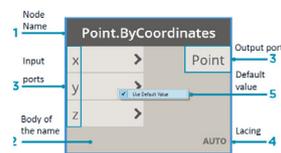


Figura 49. Rappresentazione che riassume la struttura di un nodo su Dynamo. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

di lavoro, una barra delle applicazioni e una libreria. All'interno

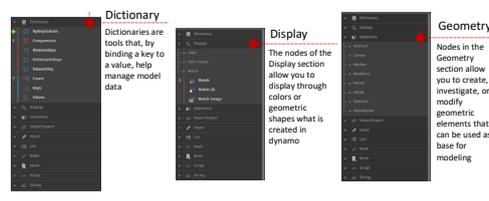


Figura 50. Rappresentazione di una libreria tratta dal software Dynamo. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

⁹¹ *Application Programming Interface* (API), interfaccia di programmazione delle applicazioni con il fine di semplificare la collaborazione tra software, migliorando la progettazione, l'amministrazione e l'utilizzo.

della libreria ci sono nodi, blocchi e stringhe, utili a comporre la sintassi. Ogni nodo, oltre a presentare uno stato, è connesso ad un altro nodo fino a comporre una catena di input e output. Nella prima fase di progettazione è necessario individuare e definire il problema che si vuole risolvere al fine poi di classificare e scegliere i parametri da utilizzare. Per ottimizzare il processo risulta indispensabile la conoscenza e la capacità di saper gestire le liste⁹² di

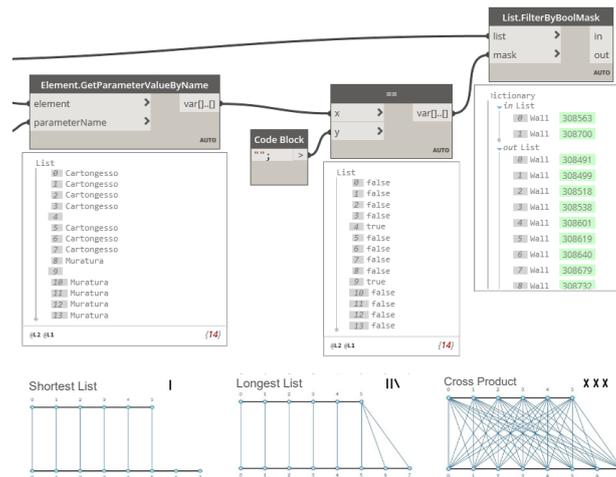


Figura 51. Rappresentazione di liste e di operazioni (match) tra esse su Dynamo.
Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

elementi su Dynamo. Per connettere tra loro gli elementi di più liste ci sono tre possibilità di match: *Shortest List*, in cui gli elementi delle liste vengono collegati tra loro in rapporto 1:1 fin quando terminano gli elementi della lista più breve; *Longest List*, in cui gli elementi vengono collegati fin quando non termina la lista con più elementi; o *Cross Product*, che consente ogni possibile collegamento. Come quasi tutti i software di Visual Programming Language anche Dynamo è open source, quindi gratuita e anche costantemente aggiornata poiché fondata su una community online, attiva e composta da programmatori competenti. Il linguaggio di programmazione utilizzato per scrivere i codici che compongono i blocchi del software è Phyton. Anche questo software, il cui utilizzo si sta diffondendo velocemente, rientra tra gli strumenti della quarta rivoluzione industriale ampiamente utilizzati a completamento della metodologia BIM, quindi indirettamente per uno sviluppo sostenibile. Questi sono solo alcuni dei concetti base riguardanti Dynamo e più in generale il VPL.

⁹² Tra gli elementi che compongono Dynamo fondamentale è la lista, quindi l'elenco di un insieme. Per facilità, gli elementi parametrici presenti nelle Librerie di Dynamo sono raggruppati in Liste di elementi con gli stessi parametri.

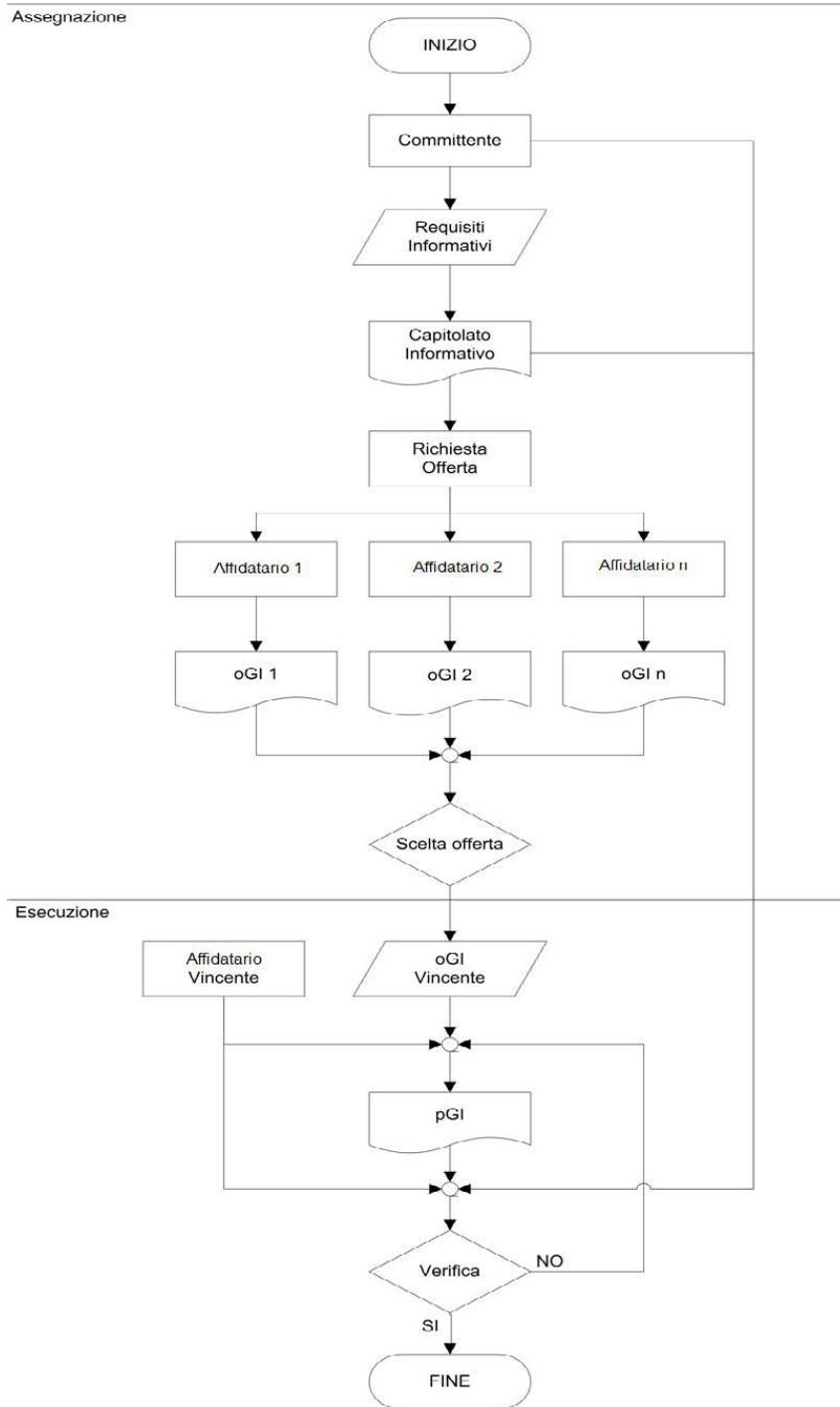
5. Earthship e Metodologia BIM

Prima di applicarla al modello Earthship, descriviamo la metodologia BIM suddividendola nelle sue due fasi, quella contrattuale e quella operativa.

5.1 Fase contrattuale

La metodologia BIM prevede una fase contrattuale e una fase operativa. Nella fase iniziale, quella contrattuale, viene redatto un documento di gara per conto della committenza, al fine di stabilire i requisiti richiesti nello specifico progetto. Tale documento prende il nome di "Employer's Information Requirement" (EIR), anche conosciuto in Italia come Capitolato Informativo (CI). In riferimento alla norma inglese PAS 1192-2, in Italia viene introdotta la norma UNI 11337⁹³ con l'intento di gestire il processo di digitalizzazione del settore edilizio e definendo in questa sede i ruoli, i requisiti e i flussi dell'intero processo. Attraverso l'introduzione di una nuova terminologia vengono delineati nuovi profili professionali (coordinatore, gestore e modellatore delle informazioni) e introdotti nuovi documenti (Capitolato Informativo, documento di offerta per la Gestione Informativa e piano per la Gestione Informativa). Questi ruoli e documenti presentano un perfetto parallelismo terminologico con le norme PAS inglesi. Tra i ruoli da normativa italiana, il coordinatore rispettivamente equivale alla figura inglese del *BIM Coordinator*, il gestore delle informazioni equivale al *BIM Manager* e il modellatore delle informazioni al *BIM Specialist*. Tra i documenti, il Capitolato Informativo (CI) equivale all'inglese "Employers Information Requirement" (EIR) e si tratta di un documento a definizione di esigenze e requisiti informativi da soddisfare con il progetto, il documento di offerta per la Gestione Informativa (oGI) rispecchia il documento inglese "BIM Execution Plan pre-contract award" (BEP pre-contract award) ed è un documento in cui il concorrente specifica la propria modalità di gestione rispetto alle linee guida citate dalla committenza nel CI, e infine abbiamo il piano per la Gestione Informativa (pGI), equivalente al "BIM Execution Plan" (BEP), in cui i contenuti dell'oGI diventano definitivi. Nella norma è anche presente l'analisi delle incoerenze riguardante la valutazione di incoerenze informative, equivalente al "Code Checking" britannico, e l'analisi delle interferenze geometriche, nota invece come "Clash Detection". Il flusso informativo [Vedi Schema 21] consiste, in prima battuta, nella redazione del Capitolato Informativo da parte della committenza, al fine di precisare le esigenze informative e i requisiti, nella scelta, da parte della committenza stessa, dell'oGI più valido prodotto dai candidati interessati all'affidamento del progetto e infine nella produzione del pGI. Nella produzione dell'oGI, i candidati dovranno compilare il documento proponendo alla committenza la loro strategia elaborata con l'obiettivo di soddisfare le esigenze della

⁹³ UNI 11337, norma relativa alla "gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni". Suddivisa nelle UNI 11337-1, UNI 11337-4, UNI 11337-5, 11337-6. La quinta parte riguarda tutta la normativa tecnica sul BIM in Italia. La sesta parte, postuma, ha l'obiettivo di approfondire l'aspetto del Capitolato Informativo, già anticipato nella parte 5.



Schema 2. Flusso informativo⁹⁴, Fonte: Progetto U87007275 (Progetto di norma UNI 11337-5).
 Tratto da sito web: "https://biblus.acca.it/la-uni-11337-5-la-quinta-parte-della-normativa-tecnica-italiana-sul-bim/".

⁹⁴ oGI, Offerta per la Gestione Informativa; pGI, Piano per la Gestione Informativa [UNI 11337].

committenza riassunte nel Capitolato Informativo. In ultimo, nella produzione del pGI, l'affidatario individuato⁹⁵ dovrà approfondire l'offerta precedentemente proposta nell'oGI. Questi documenti, essendo una conseguenza dell'altro, dipendono dalla struttura del Capitolato Informativo, solitamente suddiviso in una sezione tecnica e una sezione gestionale. Ciò che sicuramente deve essere definito nei documenti riguarda il numero e la tipologia dei modelli da produrre, i modelli da aggregare, le regole per la gestione delle interferenze, per le verifiche normative e per le incoerenze informative e la definizione dei ruoli e delle responsabilità. I modelli si riferiscono alle discipline (architettonico, strutturale, impiantistico, etc) e si declinano in base agli obiettivi. Vengono individuati dalla norma tre livelli di verifica delle informazioni: il primo (LV1) è una verifica rispettivamente alle modalità di produzione, consegna e gestione delle informazioni riportate nel Capitolato Informativo e nel piano per la Gestione Informativa; il secondo (LV2) è orientato a verificare la leggibilità, tracciabilità e coerenza delle informazioni presenti nei modelli prodotti; infine, il terzo (LV3) che comporta verifiche effettuate dal committente su quanto depositato nell'ACDat e/o ACDoc. I flussi riguardanti l'ambiente di condivisione dati devono essere definiti nel Capitolato Informativo. Tali flussi dovranno soddisfare aspetti di tracciabilità, accessibilità e successione storica delle revisioni, aspetti riguardanti il supporto di varie tipologie e di differenti formati, facilità di accesso, capacità di conservazione, aggiornamento nel tempo e garanzia di riservatezza e sicurezza. La struttura dell'ambiente condiviso può variare da progetto a progetto ma tendenzialmente è suddiviso in quattro aree: l'area "in lavorazione", alla quale avrà accesso solo il team di lavoro composto da progettisti e figure tecniche; l'area "in condivisione", alla quale hanno accesso anche terzi accreditati; l'area "in pubblicazione", anch'essa aperta a terzi accreditati; e l'area "in archiviazione". Ai fini di questa tesi, con l'obiettivo di

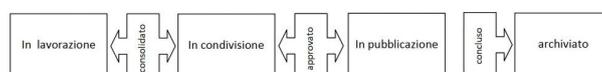


Figura 52. Rappresentazione che riassume le aree in cui è suddiviso l'ambiente di condivisione. Tratta da sito web: "<https://constructionreviewonline.com/installations-materials/improving-bim-workflow-with-dynamo-revit-plugin/>".

compilare in futuro un documento di Offerta per la Gestione Informativa dell'Earthship, ci apprestiamo a impostare un preliminare Capitolato Informativo [Allegato 1] sulla base di quanto asserito nella UNI 11337-6.

⁹⁵ Procedura di affidamento dei lavori [Osello, A. & Fonsati, A. & Rapetti, N. & Semeraro, F. (2019). *InfraBIM: il BIM per le infrastrutture*. pp 26-32. Roma. Gangemi International].

5.2 Fase operativa

Il **Building Information Modeling** è il sistema di progettazione ritenuto fondamentale nell'ottica della sostenibilità di progetto. Esso diventa una componente strategica al fine di realizzare prototipi di edilizia circolare, potendo garantire una visione di insieme dell'intero ciclo di vita del manufatto. Con l'intento di produrre il modello digitalizzato dell'Earthship, si passa dalla fase contrattuale alla fase operativa. Subito dopo aver introdotto il caso studio, verrà definito il flusso di lavoro per riassumere gli obiettivi, i dati di input, i dati di output e gli strumenti utilizzati nella fase operativa. In un secondo momento dovrebbero essere approfondite le dinamiche riguardanti la suddivisione dei ruoli e degli incarichi all'interno dell'iter progettuale, nel nostro caso passaggio temporaneamente superfluo in quanto lavoro di tesi svolto da una singola persona. L'interoperabilità si riferisce alle persone ma anche agli strumenti, motivo per cui nel capitolo successivo viene realizzata una matrice di interoperabilità per descrivere come i software interagiscono tra loro e a quale scopo. In ultimo, viene descritta più nel dettaglio la metodologia parlando di **Building Information Model**, quindi della modellazione geometrica e dell'inserimento dei dati riguardanti gli oggetti parametrici rispetto a tutte le dimensioni del BIM.

5.2.1 Caso Studio

Al fine d'indagare le potenzialità della metodologia BIM, approfondiamo il caso studio Earthship. Procediamo con un'astrazione dal contesto⁹⁶ in cui nasce l'Earthship, orientando l'attenzione verso le caratteristiche tecnico-scientifiche e provvedendo a ricontestualizzare il progetto solo successivamente, nelle considerazioni finali. Reputando di fondamentale importanza la capacità e la volontà di saper contestualizzare durante la fase progettuale, introduciamo un Qr Code⁹⁷ per permettere al lettore di collocare il progetto Earthship sullo sfondo al quale appartiene. È a



QRcode 1. Raccolta fotografica [Allegato 2]. Elaborato personale.

⁹⁶ Taos, New Mexico, 1970.

⁹⁷ Strumento di Virtual Reality che facilita i collegamenti ipertestuali.

partire dalle tavole di progetto e dai disegni CAD prodotti da Debora Tantillo, che verrà impostato il modello BIM dell'Earthship,

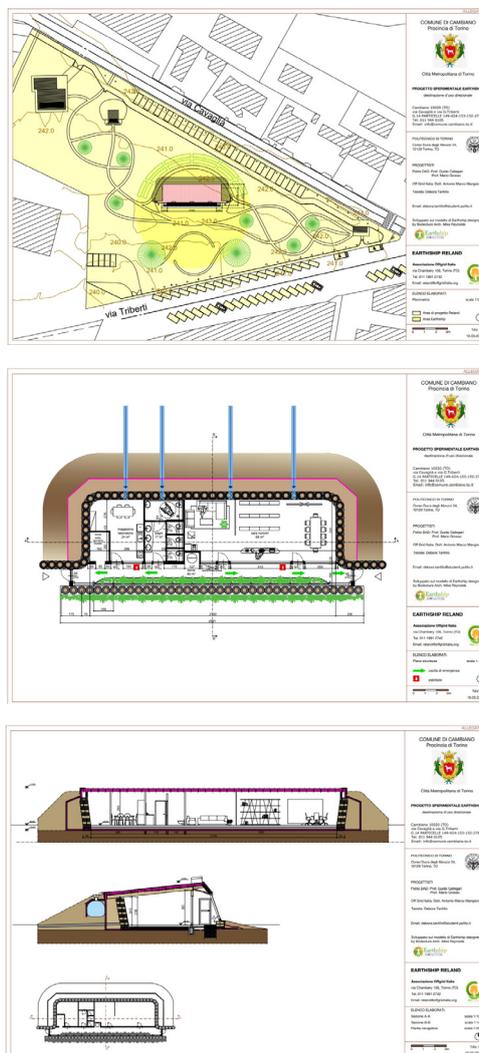


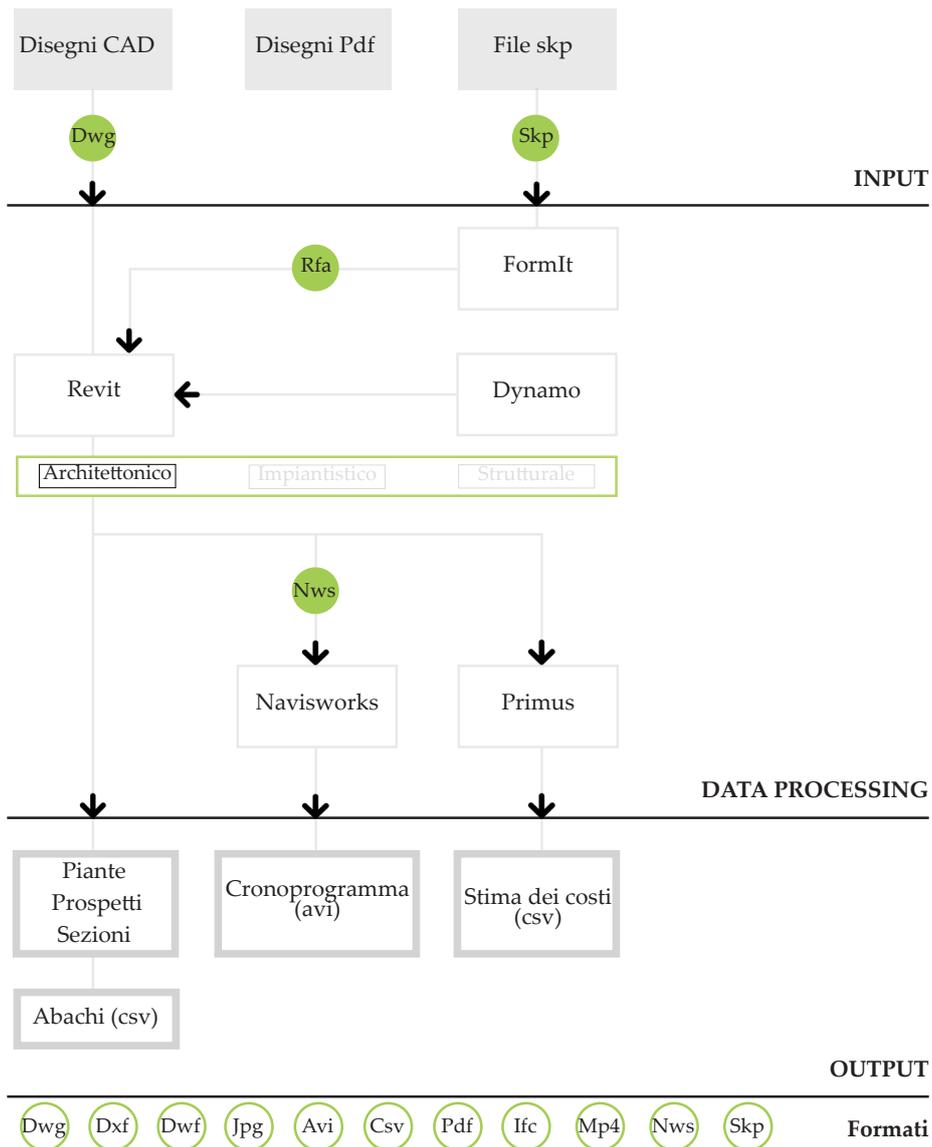
Figura 53. Allegato 3-Area di progetto Reland a Cambiano (in alto), 6-Piano di sicurezza (al centro), 7-Sezioni (in basso), "Progetto sperimentale Earthship".
Tratta dalla tesi "Applicazione del concept Earthship in Italia" di Debora Tantillo.

tenendo a mente la sua transitorietà. Nel corso di questa tesi, con l'obiettivo di mettere le basi per l'ideazione di un prototipo *bim-oriented* completo dell'Earthship, provvederemo a impostare il modello architettonico, evidenziando i possibili futuri sviluppi, al fine di scrivere una *roadmap*⁹⁸ progettuale a supporto di eventuali future collaborazioni tra l'associazione e esperti del settore.

⁹⁸ *Roadmap*, una tabella di marcia che delinea i passi progettuali da compiere.

5.2.2 Flusso di lavoro

Il flusso di lavoro (*workflow*) descrive schematicamente gli obiettivi, gli input, gli output e il processo del progetto. Esso è fondamentale in fase iniziale poichè permette di avere una visione d'insieme, non perdendo di vista l'obiettivo finale. Cosa ho? Che cosa voglio ottenere? Quali programmi uso per raggiungere l'obiettivo? Quali formati mi servono?



Schema 3. Flusso di lavoro⁹⁹. Elaborato personale.

⁹⁹ Progetto strutturale e impiantistico non ancora avviati.

All'interno dello schema 22 è possibile comprendere i dati di input, (disegni CAD, file SketchUp e disegni PDF), i dati di output, quindi gli obiettivi del processo (file di progetto, immagini, abachi per il computo metrico, cronoprogramma per la gestione dei tempi, piano manutentivo per il *Facility Management*), e infine la fase intermedia del processo, caratterizzata dall'interoperabilità tra i software specifici selezionati. In tal caso viene scelta Autodesk Revit come piattaforma BIM di riferimento, al fine di produrre i file di progetto dell'Earthship (piante, sezioni, prospetti, etc.), eventuali immagini, un tour virtuale visibile da Ipad o da visore, utile in fase di presentazione del progetto alla committenza, e gli abachi, indispensabili al fine del computo metrico e necessari a verificare gli elementi nella *dataroom* della componentistica¹⁰⁰. Essendo il progetto Earthship non classificabile come progetto composto da elementi costruttivi standard, è stato utile sfruttare il software Autodesk FormIt, per la modellazione geometrica, e il software Autodesk Dynamo per l'integrazione dei dati. Al fine di ottenere le basi per un cronoprogramma, è stato scelto di usare il software Autodesk Navisworks. Infine, per velocizzare la costruzione di un computo metrico, facilitando così la gestione dei costi, si è optato per l'utilizzo del software PriMus, in grado di produrre una precisa stima dei costi.

5.2.3 Condivisione del lavoro

In questa fase progettuale sarebbe opportuno parlare dell'interoperabilità tra persone, quindi della suddivisione dei ruoli e delle responsabilità tra gli attori coinvolti (*Worksharing*). Trattandosi temporaneamente di un progetto di tesi svolto da un singolo, ci limitiamo a sottolineare l'importanza dell'individuazione di un ambiente di condivisione e della suddivisione dei ruoli di progetto.



Figura 54. Rappresentazione dell'interoperabilità tra persone. Differenze tra la metodologia BIM e la metodologia basata sullo scambio di informazioni bidimensionali. Tratta da sito web: "<https://bim.acca.it/legame-bim-ifc/>".

¹⁰⁰ Per *dataroom* della componentistica si intende l'ACDoc, quindi l'insieme di tutti i documenti di progetto. In tal caso si fa riferimento ai documenti riguardanti gli elementi geometrici. L'ACDat è l'insieme dei dati.

5.2.4 Interoperabilità

Una delle definizioni di interoperabilità è: “Capacità di due o più sistemi, reti, mezzi, applicazioni o componenti, di scambiare informazioni tra loro e di essere poi in grado di utilizzarle”^[101]. È proprio questa capacità a rendere innovativa la metodologia BIM. Si parla di interoperabilità tra persone [Vedi Capitolo 5.2.3] e di interoperabilità

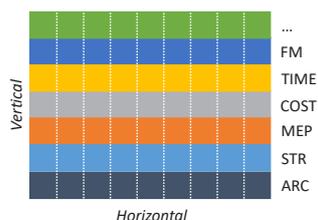
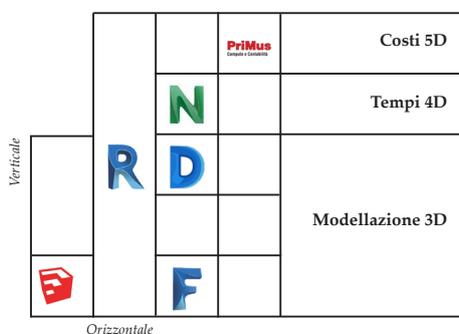


Figura 55. Rappresentazione di una matrice di interoperabilità verticale e orizzontale. Tratta da Osello, A. (2021). *Parametric and algorithmic modeling*.

tra software [Vedi Capitolo 4.1]. Nello Schema 23 viene rappresentata la matrice di interoperabilità relativa al progetto Earthship. Il software Revit viene esteso per ogni disciplina poiché piattaforma BIM di riferimento. L'interoperabilità orizzontale è visibile ad esempio tra i programmi utili alla modellazione 3D come SketchUp e il pacchetto Autodesk, composto da FormIt, Dyanamo e Revit. Lo scambio verticale è invece quello ad esempio tra Navisworks e Dyanamo, appartenenti



Schema 4. Matrice di interoperabilità tra software. Elaborato personale.

alla stessa casa produttrice. Per favorire interoperabilità, sia orizzontale che verticale, è necessario individuare il formato adeguato a scambiare informazioni, riducendo gli errori e abbattendo costi e tempi. Il formato standard maggiormente utilizzato a tale scopo è l'IFC, Industry Foundation Classes. Nel caso del progetto Earthship vengono utilizzati formati differenti [Vedi Capitolo 5.2.2].

¹⁰¹ Fonte: Treccani, *Voce Interoperabilità*, sito web: <https://www.treccani.it/>.

5.2.5 Building Information Model

In fase applicativa, i passi da seguire per costruire il modello seguono le dimensioni del BIM. Partendo dalla definizione di un modello geometrico ricco di dati e caratterizzante la terza dimensione, sarà possibile gestire i tempi, i costi, gli indicatori di sostenibilità ambientale ed efficienza energetica, e infine tutte le procedure gestionali e manutentive. In questo progetto la modellazione tridimensionale dell'Earthship è stata avviata considerando esclusivamente l'apporto architettonico, non testando così, per questioni logistiche, quelle che sono le vere potenzialità della metodologia BIM, la quale permette e richiede lo scambio di informazioni tra progetto architettonico, impiantistico e strutturale. La modellazione architettonica del caso studio in esame l'interoperabilità di più software: alcuni elementi vengono costruiti utilizzando SketchUp e Formit e altri concepiti direttamente su Revit. Essendo l'Earthship un prototipo non standard, quindi più laborioso in fase di modellazione, viene utilizzato il software SketchUp per creare alcune delle geometrie sfruttando e adattando materiale già realizzato da altri utenti rintracciabile sul web. Dopo aver adattato e personalizzato gli elementi dell'Earthship, sulla base dei file CAD prodotti da Debora Tantillo nella sua tesi, essi vengono importati, in formato skp, su FormIt, software nato per il design concettuale e ben connesso con Revit e Dynamo, al fine di creare famiglie per Revit in formato rfa¹⁰². Dopo aver effettuato le dovute modifiche geometriche su FormIt, si procede con l'importazione del file su Revit, al fine di creare le famiglie di oggetti che comporranno il modello BIM. Su Revit, gli elementi, più propriamente definiti oggetti o oggetti parametrici, vengono organizzati in famiglie dotate di specifiche caratteristiche. Ogni oggetto, classificato secondo categoria, famiglia e tipo, risponderà a determinati parametri. Dopo aver creato una scheda di dati per ogni oggetto, caratterizzato anche da proprietà geometriche, passiamo all'interno dell'ambiente Revit, andando così a comporre il modello BIM con gli elementi architettonici a disposizione. A partire da tale modello ricaviamo gli abachi relativi agli elementi di progetto, ai materiali e alle quantità, i dati necessari a produrre un cronoprogramma per mezzo del software Navisworks, ed è per mezzo del software Primus che possiamo ottenere infine anche una stima dei costi. Pur fermandosi qui il lavoro di tesi, rimangono molti gli sviluppi futuri, tutti realizzabili partendo dalla costruzione di un modello tridimensionale ricco di informazioni dettagliate. È solo raggiungendo la settima dimensione che si potrà parlare anche di **Building Information Management**¹⁰³.

¹⁰² "rfa.", i file di estensione rfa sono file di dati che contengono modelli 3D, utilizzabili su Revit e contenenti dati sulle famiglie di oggetti.

¹⁰³ Building Information Management, terzo significato dell'acronimo BIM, relativo alla possibilità che la metodologia offre rispetto al processo di gestione o manutenzione del manufatto. È proprio la capacità di monitorare tutte le fasi del ciclo di vita del manufatto a rendere la metodologia BIM strumento strategico per la sostenibilità di progetto.

6. Applicazione della Metodologia BIM

Ripercorriamo in questo capitolo l'applicazione della metodologia BIM al modello Earthship. Consideriamo la terza dimensione di modellazione, la quarta di gestione dei tempi e la quinta di gestione dei costi.

6.1 3D: Modellazione

Nella modellazione 3D su Revit, per prima cosa viene definito il *template* di progetto "Nuovo">"Modello di progetto">"Modello architettonico">"ok". Nel *template* settiamo l'unità di misura in metri, eliminiamo le famiglie non utili nel nostro progetto e impostiamo i livelli di sezione, per i prospetti e per le sezioni, impostando in tutte le visualizzazioni una scala di 1:200 con livello di dettaglio medio. Dopo aver impostato un *modello di vista* applicabile ad ogni visualizzazione, salviamo il *template* andandolo a modificare successivamente in base alle necessità. Chiudiamo e riapriamo Revit procedendo con la creazione di un nuovo progetto, "Nuovo">"Progetto">"Template">"ok", andando a caricare il *template* appena creato. Aperto il nuovo progetto Revit, procediamo con l'importazione del file dwg. L'importazione può avvenire tramite link, con la possibilità di poter apportare modifiche al dwg su Autocad e contemporaneamente su Revit, oppure tramite importazione effettiva. Disponendo di un file dwg definitivo, procediamo con l'importazione facendo attenzione che le unità di misura del file dwg corrispondano con quelle del file rte¹⁰⁴. Localizziamo il modello attraverso la procedura "Gestisci">"Località" e inserendo le coordinate del luogo adibito alla realizzazione del parco Reland a Cambiano, così da facilitare eventuali studi sulle ombre o energetici. Iniziamo la modellazione 3D tenendo a mente gli obiettivi da voler raggiungere. Tra le famiglie create su Revit, "Nuovo">"Famiglia">"Modello generico metrico"¹⁰⁵, troviamo ad esempio la famiglia Pneumatico, alla quale vengono conferite le misure e le proprietà di uno pneumatico 225/70 R15C, modificabili qualora cambiasse il fornitore e la dimensione. Le restanti famiglie caricabili, tolte quelle di sistema utilizzate per alcuni muri e serramenti, vengono create a partire da un formato axm, proprio del software FormIt, "Moduli aggiuntivi">"Import FormIt to RVT". Una volta creata la libreria di famiglie di elementi architettonici, andando quindi a creare geometrie per ogni elemento architettonico e arricchendole con informazioni di carattere tecnico, viene costruito il muro esterno composto da pneumatici fuori uso sovrapposti su 11 corsi e per un'altezza di circa 2,5 m. Trattandosi di uno pneumatico utilizzato secondo schemi non tradizionali, riempito con circa 75 kg di terra compattata e con uno strato di cartone per evitare che la terra scenda dalla parte inferiore, ed essendo improbabile la rappresentazione della terra sul software Revit, verranno inserite informazioni falsate attraverso le quali attribuire alla famiglia Pneumatico i valori dello pneumatico fuori uso unito alla

¹⁰⁴ "rte", i file con estensione rte sono file di modello apribili su Autodesk Revit. Si differenziano dai file con estensione rvt, anch'essi file di progetto, poichè in rte viene salvato il file iniziale di progetto sul quale non si può sovrascrivere.

¹⁰⁵ "Modello generico metrico", durante la creazione di una famiglia è necessario scegliere un modello corrispondente al tipo della famiglia, trattandosi in questo caso di un elemento non standard viene scelto il Modello Generico Metrico.

terra e al cartone. Tali valori deriveranno dagli studi già effettuati sulle prestazioni e sulle proprietà di questo innovativo elemento strutturale. Essendo molte e varie le scelte progettuali da compiere, in questo caso si è deciso di disporre gli pneumatici nel modo più strategico possibile, dovendo ancora decidere nello specifico quale tipologia costruttiva adottare. I corsi di pneumatici vengono perciò sovrapposti, poggiando

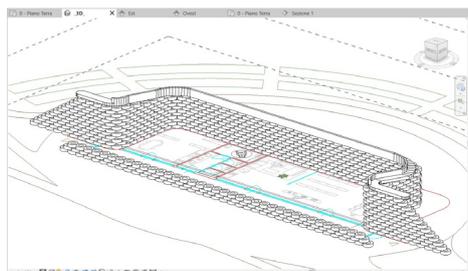


Figura 56. Rappresentazione muro portante di pneumatici. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

quello inferiore direttamente su una membrana impermeabile disposta a contatto diretto con il terreno [Vedi capitolo 2.3]. Le tipologie proposte sono due principalmente. Una delle tipologie, quella più tradizionale, prevede che gli pneumatici stiano a diretto contatto con il suolo, scelta adottata anche nella costruzione del modello BIM, e che ogni corso venga arretrato di circa 4 cm rispetto ai corsi sottostanti ottenendo così una forma che sia di contrasto alla forza orizzontale esercitata dal terreno. Per incrementare la resistenza alle forze orizzontali che agiscono sulla parete, vengono inserite delle barre di armatura in acciaio disposte ogni tre corsi di pneumatici, alternando un pneumatico si e

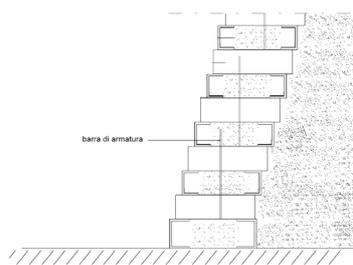


Figura 57. Disposizione delle barre di armatura nel muro di pneumatici fuori uso (tipologia 1). Tratta dalla tesi "Analisi progettuale di un edificio in materiale di riuso, offgrid e zero carbon: dall'earthship esistente di Brighton all'earthship ipotetica di Torino" di Chiara Massimello.

uno no. Al di sopra del muro di pneumatici ultimato, viene collocata una struttura in legno/cemento, ancorata al corso di pneumatici superiore e in

grado di sostenere la copertura. Un'alternativa¹⁰⁶, proposta da Valentina Pocaforza nella sua tesi, prevede che gli pneumatici non poggino più direttamente sul terreno, bensì su una base in cls utile a sostenere una struttura di legno/acciaio fornita di molle e necessaria a incastrare gli pneumatici in modo da indurre un comportamento monolitico della parete. In tal caso i tondini di acciaio vengono disposti lungo tutta l'altezza della parete. La struttura a sostegno della copertura è in tal caso in legno/acciaio e fa parte della struttura di contenimento della parete.

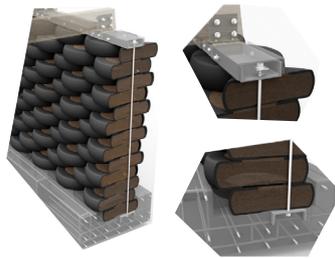


Figura 58. Disposizione delle barre di armatura nel muro di pneumatici fuori uso (tipologia 2).
Tratta dalla tesi "Progetto di un edificio in terra cruda e pneumatici riciclati (Earthship):
aspetti strutturali" di Valentina Pocaforza.

Gli pneumatici vengono utilizzati anche a sostegno della serra esposta a sud, motivo per cui viene creato un muretto su 3 corsi, anch'esso sovrastato da una struttura di sostegno in legno/cemento o acciaio, in base alla tipologia costruttiva scelta. Dopo aver inserito su Revit la pavimentazione, tenendo conto dei locali individuati dal file dwg, creiamo i muri interni. Il muro centrale che corre per tutta la lunghezza dell'Earthship è portante, in legno e costruito su fondazioni in cemento, mentre i restanti muri, caratterizzati da un materiale innovativo che sfrutta l'unione di bottiglie di vetro/plastica riciclate, un impasto di sabbia ed eco-cemento, non sono portanti e servono a delimitare gli ambienti interni. Tra i locali¹⁰⁷ abbiamo: i bagni, di superficie complessiva pari a circa 15 m² (tre bagni da 1.5 m² e uno da 5 m²), il magazzino/laboratorio, di circa 23 m², e la sala riunioni, di circa 67 m². Conseguentemente alla creazione delle partizioni interne vengono aggiunti anche i serramenti e le porte, così da delimitare anche il locale della serra, di circa 37 m². Viene a questo punto costruita la serra attraverso una struttura di legno, composta da travi dello spessore di 50 mm e di lunghezza 170 mm, necessaria a sorreggere le vetrate della serra. Per la copertura della serra verranno poi introdotte travi di legno lunghe 300 mm, ancorate ai 3 corsi di pneumatici posti a sud della struttura sui quali verrà posizionata una struttura di sostegno, in eco-cemento o in acciaio, necessaria per la

¹⁰⁶ Lo pneumatico rimane riempito di terra compattata su uno strato di cartone anche scegliendo questa tipologia costruttiva.

¹⁰⁷ La disposizione dei locali varia da progetto a progetto. In tal caso il progetto Earthship è pensato per ospitare locali flessibili, aperti al pubblico e non residenziali.



Figura 59. Rappresentazione parete centrale portante e partizioni interne con serramenti. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

connessione con le travi. Il nodo di connessione può essere affrontato in modi differenti, dipendentemente dalla tipologia costruttiva scelta. Nella tipologia 1 viene prevista la presenza di una barriera impermeabile, inserita prima del posizionamento degli pneumatici, e di eco-cemento, colato all'interno della cavità degli pneumatici e utile al posizionamento del gancio in acciaio a cui viene ancorata la trave di

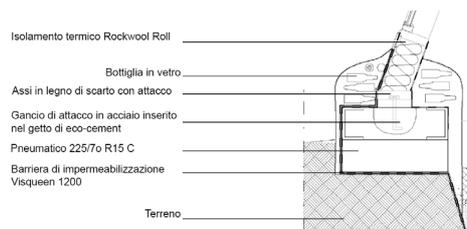


Figura 60. Nodo costruttivo della serra (tipologia 1).
Tratta dalla tesi "Analisi progettuale di un edificio in materiale di riuso, offgrid e zero carbon: dall'earthship esistente di Brighton all'earthship ipotetica di Torino" di Chiara Massimello.

legno. Nella tipologia 2 il nodo prevede connessioni in piastre angolari tra le travi di legno e il profilo di acciaio posto al di sopra del muro di



Figura 61. Nodo costruttivo della serra (tipologia 2).
Tratta dalla tesi "Progetto di un edificio in terra cruda e pneumatici riciclati (Earthship): aspetti strutturali" di Valentina Pocaforza.

pneumatici. Le vetrate, incastrate nella struttura in legno della serra, risultano inclinate di 70°, dato variabile in base all'inclinazione dei raggi solari e quindi della posizione geografica. Con la serra



Figura 62. Rappresentazione dell'inclinazione della serra nel modulo Earthship in questione. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

viene anche predisposta la superficie in legno che ospiterà i pannelli solari e fotovoltaici. In ultimo, al fine di costruire la copertura, viene inserita una struttura di 38 travi in legno, a sezione circolare, su cui disporre pannelli in legno, sovrastati da una barriera al vapore, sui quali verranno a loro volta poggiate capriate in legno, integrate con isolamento termo-acustico di spessore pari a 800 mm circa, pannelli sottili, anch'essi in legno, pannelli isolanti, membrana impermeabilizzante e lamiera grecata. La copertura risulterà inclinata¹⁰⁸ e dotata di lucernari. Anche in questo caso viene scelto di rappresentare la copertura facilitando i cambiamenti da apportare una volta deciso quale tipologia costruttiva adottare. Il modello BIM prodotto in tale sede non ha lo scopo di raggiungere la perfezione, bensì quello di

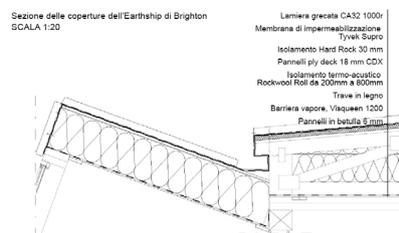


Figura 63. Stratigrafia della copertura (tipologia 1).
Tratta dalla tesi "Analisi progettuale di un edificio in materiale di riuso, offgrid e zero carbon: dall'earthship esistente di Brighton all'earthship ipotetica di Torino" di Chiara Massimello.

illustrare le potenzialità della metodologia. Rientrando la pietra tra i materiali di scarto, viene ipotizzata una pavimentazione in scarti di granito. Il granito poggia su 100 mm di eco-cemento, a contatto con una membrana impermeabilizzante e uno strato di isolamento termico, fino a giungere al terreno. Tutte le ipotesi proposte da Chiara Massimello prendono spunto dall'Earthship realmente costruita a Brighton, in Inghilterra. Durante la modellazione su Autodesk Revit è necessario creare tutti gli oggetti architettonici non trascurando la fase di

¹⁰⁸ Le travi in legno poste a sostegno della copertura possono essere ipotizzate non inclinate, se a sostegno di un sistema di capriate [come nel caso descritto da Chiara Massimello], oppure inclinate, a sostegno di una stratigrafia differente [come ipotizzato da Valentina Pocaforza].

inserimento dei dati. Prendiamo l'esempio della famiglia **Pneumatico**¹⁰⁹. Dopo aver creato una famiglia, denominata in tal caso "pneumatico", procediamo con la modellazione geometrica creando alcuni parametri, come il raggio, il diametro o l'altezza, necessari per la costruzione geometrica e utili qualora nel futuro volessimo modificare le dimensioni dell'oggetto. I dati da inserire non riguardano soltanto la geometria infatti, in fase di creazione delle famiglie, è possibile anche inserire dati riguardanti i vincoli strutturali dell'oggetto, i materiali, le finiture o dati generali riguardanti l'identità, come ad esempio il nome del modello di pneumatico scelto, 225/70 R15C, e il fornitore. La definizione del modello Earthship dipende dalla definizione degli oggetti inseriti. È quindi la fase di creazione delle famiglie a dettare il livello di dettaglio dell'intero progetto. Per far sì di avere le informazioni adeguate sarà perciò necessario procedere con una ricerca dei fornitori e degli elementi architettonici o impiantistici, qualora stessimo operando la modellazione MEP, dotati di schede tecniche dalle quali attingere per l'inserimento dei dati. Riportiamo di seguito la procedura seguita per la creazione della famiglia "pneumatico", riproponibile per ogni elemento da inserire nel progetto, ponendo attenzione a modificare le dovute informazioni. Aprire Revit e creare una nuova famiglia seguendo la procedura "Famiglie">"Nuovo">"Modello generico metrico". È possibile scegliere un

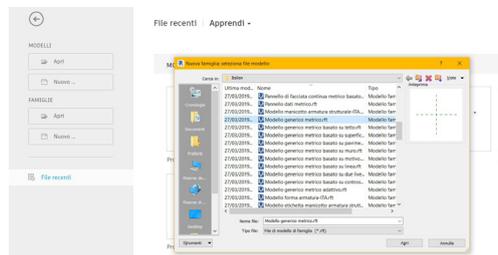


Figura 64. Passaggi per la creazione di una famiglia "Modello generico metrico" su Revit. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

file modello differente da "modelli generici" qualora fosse più appropriato. Impostiamo un piano di riferimento intorno all'origine dell'oggetto che dobbiamo realizzare, quindi "Crea">"Piano di riferimento". Creo delle quote sul piano di riferimento andando ad attivare la condizione di uguaglianza, "Gestisci">"Allineata". Una volta create le quote sarà possibile andare a creare un nuovo parametro alla voce "Etichetta". Cliccando su "Crea parametro" , in alto a destra, creiamo parametri famiglia di tipo¹¹⁰, nominandoli "Lunghezza" e "Larghezza". Seguo lo stesso procedimento per creare il parametro "Altezza" nella vista "Prospetti", per poi procedere

¹⁰⁹ Le famiglie, come la famiglia **Pneumatico**, sono state elencate in appositi file excel per ottimizzare il processo di gestione nell'ottica di sviluppi futuri ["Allegato 3.0_Famiglie Revit Arch"].

¹¹⁰ Parametri "famiglia di tipo", sono parametri utili ad ottimizzare il processo di modifica qualora si decidesse di cambiare le caratteristiche, geometriche in tal caso, dell'oggetto in questione.

alla modellazione tramite la voce "Crea">"Estrusione". Nella sezione "Modifica Crea estrusione">"Disegna", scegliamo il cerchio e disegniamo lo pneumatico utilizzando il piano di riferimento modificato rispetto alle misure da inserire, in alto a sinistra. Una volta ottenuto il cerchio definiamo il nuovo parametro "Raggio pneumatico" a partire da una quota radiale. Avendo scelto il modello

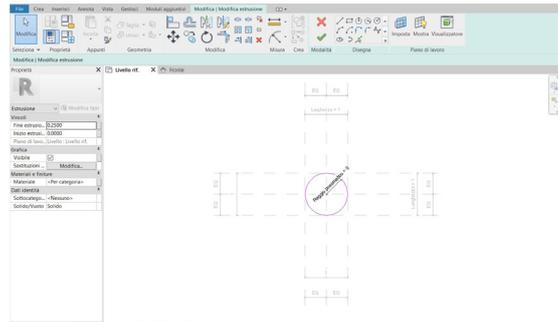


Figura 65. Creazione del parametro "raggio pneumatico" su Revit. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

da catalogo "225/70 R15C", conosciamo le dimensioni dell'oggetto che vogliamo disegnare e così, secondo la procedura "Proprietà">"Tipi di famiglia">"Raggio pneumatico" , andiamo a modificare il diametro dell'oggetto. Stessa procedura per il parametro "Altezza pneumatico" e per qualsiasi altro parametro necessario a controllare le caratteristiche dell'oggetto in questione. Impostiamo a questo punto il materiale dell'oggetto dal pannello "Proprietà", a sinistra. Selezionando il quadratino accanto alla voce "Materiale" associamo un parametro famiglia di tipo "materiale" all'oggetto. Creiamo un parametro "Materiale pneumatico"¹¹¹, all'interno del quale poter inserire tutte le specifiche tecniche del materiale, e salviamo la famiglia in formato rfa, chiudendo il file per poi importarlo nel progetto rfe. Queste procedure possono essere applicate per ogni elemento da inserire nel modello. La modellazione su Revit è valida anche a partire da famiglie in formato axm, quindi non create su Revit ma importate in esso per mezzo del software FormIt. Il formato axm, se ben impostato su FormIt, darà la possibilità alle famiglie di esser riconosciute da Revit sotto la categoria "modello generico", a partire dalla quale la procedura di inserimento dati sarà la medesima. La creazione di una nuova famiglia può esser fatta anche attraverso Dynamo, garantendo così maggiore libertà nella modellazione e gestione delle informazioni. In questo caso utilizziamo Dynamo non per la creazione delle famiglie ma bensì per interrogare

¹¹¹ Nel parametro "materiale pneumatico" sarà necessario falsare le informazioni tecniche relative al sistema pneumatico riempito di terra con strato di cartone. Le informazioni tecniche possono esser recuperate dagli studi effettuati precedentemente per altre Earthship.

il modello di progetto, ottenendo informazioni sul valore dell'area di un oggetto o l'elenco dei parametri associati a esso. Su Revit 2020, attraverso la procedura "Gestisci">"Dyanamo", apriamo il software e creiamo un nuovo file, che risulterà connesso al progetto Revit. Per mezzo di specifici script, rintracciabili nella libreria a sinistra dell'interfaccia, selezioniamo l'oggetto da interrogare, in tal caso l'oggetto "pneumatico", selezionandolo su Revit. Procediamo con

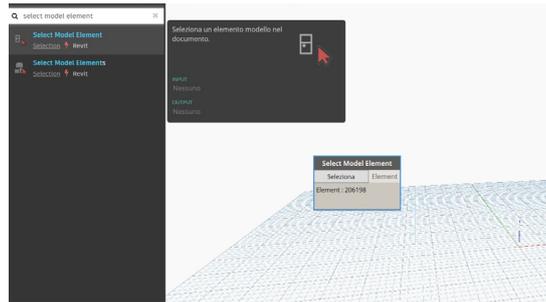


Figura 66. Interfaccia del software Dynamo e interrogazione oggetto: funzione "Select Model Element".
Elaborato personale su software Autodesk Revit e Autodesk Dynamo.

l'obiettivo di ottenere l'elenco dei parametri caratterizzanti l'oggetto, (caso 1) o al fine di interrogare uno specifico parametro (caso 2), come ad esempio il volume dell'oggetto. È anche possibile utilizzare

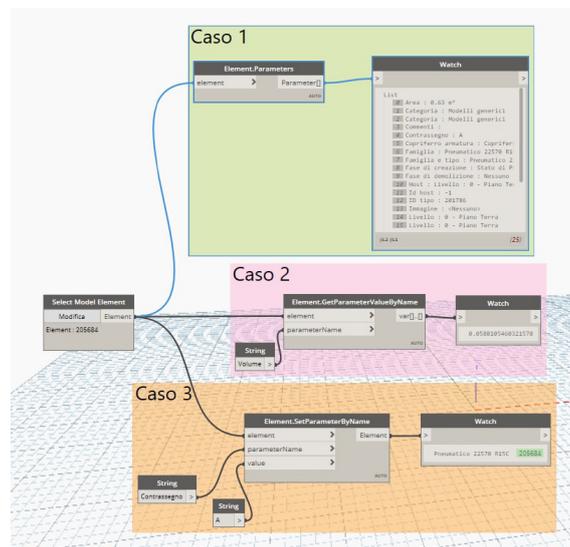


Figura 67. Creazione delle sintassi sul software Autodesk Dynamo: funzione "Element Parameters", "Element get Parameter Value by Name" e "Element set Parameter by Name".
Elaborato personale su software Autodesk Revit e Autodesk Dynamo.

Dynamo per assegnare proprietà e caratteristiche agli oggetti desiderati (caso 3) purchè la loro rappresentazione geometrica sia già presente su Revit. Le possibilità di utilizzo del Visual Programming Language sono molteplici e in continuo sviluppo. L'obiettivo rimane quello di facilitare la progettazione semplificando processi complessi, riguardanti le geometrie o le informazioni. Dynamo può essere utilizzato parallelamente al software Revit ma con FormIt. Dopo aver visto come creare famiglie di oggetti, come interrogarle nella prospettiva di dover modificare qualche parametro, è possibile procedere all'impostazione del modello tridimensionale, nella sua componente geometrica e in quella informativa. Per la modellazione geometrica, il software Revit



Figura 68. Modello BIM. Progetto architettonico.
Elaborato personale su software Autodesk Revit e Autodesk Dynamo.

permette la visualizzazione contemporanea tra piante, sezioni e prospetti, aiutando così la collocazione ottimale di elementi architettonici ed evitando le interferenze. Tramite il software è possibile anche definire le connessioni tra elementi, approfondite sempre su Autodesk Revit qualora si decidesse di avviare un progetto strutturale. Quest'ultimo risulterà direttamente connesso al progetto architettonico, così come avviene nel caso del progetto impiantistico. Questa possibilità permette l'interoperabilità tra le discipline e tra gli esperti del settore, i quali avranno la possibilità di lavorare contemporaneamente sullo stesso progetto, allineando le scelte progettuali. Per impostare tali progetti¹¹² su Revit, con la consapevolezza di poter approfondire le tematiche anche attraverso software di altre case produttrici, sarà necessario selezionare il modello rvt specifico all'apertura del software Revit.

¹¹² Tra i file di progetto allegati alla tesi vi è anche quello impiantistico, MEP. Seppur appena avviato esso è stato connesso al progetto architettonico e presenta la suddivisione dei locali, passaggio necessario per il dimensionamento e la collocazione degli impianti.

6.2 4D: Gestione dei tempi

Partendo dal modello BIM tridimensionale, arricchito di informazioni riguardanti i materiali, i metodi di costruzione, le risorse implicate nel progetto e tutto quel che riguarda l'ambito architettonico, strutturale e impiantistico, viene ora approfondita la quarta dimensione relativa alla gestione dei tempi. Con la quarta dimensione è possibile produrre una simulazione di come viene realizzato il manufatto rispettivamente alle sue componenti e alle risorse impiegate. La quarta dimensione fornisce un'interpretazione del modello BIM a partire dall'associazione degli oggetti di progetto con le attività organizzate su scala temporale. Oltre a un'animazione 4D sarà possibile prevedere le interferenze spazio-temporali tra le risorse implicate, temporanee o meno. Per ottenere informazioni riguardanti le dimensioni successive alla terza, sarà fondamentale produrre la *Work Breakdown Structure*. Questo documento, anche conosciuto con l'acronimo WBS, è utile a scomporre il progetto in parti più semplici così da favorire la gestione delle attività e delle risorse materiali. La WBS, unita all'*Organization Breakdown Structure*, fornisce una matrice di responsabilità che associa le attività alle risorse umane. L'OBS, *Organization Breakdown Structure*, è infatti un documento utile a suddividere i ruoli degli attori coinvolti nel processo. Partendo da questa matrice è possibile ottenere un ulteriore documento, il *Cost Breakdown Structure*, attraverso il quale poter definire il costo effettivo del progetto. Per produrre la *Work Breakdown Elements*¹¹³, viene presa a riferimento la norma UNI 8290, per mezzo della quale sarà possibile suddividere le risorse materiali rispettivamente alla loro classe di unità tecnologica e di elementi tecnici. Per la creazione del WBE utilizziamo il foglio di calcolo Microsoft Excel, software in grado di esportare le informazioni in formato csv. Una volta creata ed esportata la tabella

ID	NOME ATTIVITÀ	DATA INIZIO	DATA FINE	CODICE WBS
1	Muro di pneumatici	29/11/2021	02/12/2021	1.3.1
2	Sostegno legno	01/12/2021	02/12/2021	3.1.3
3	Fondazioni in calcestruzzo	30/11/2021	01/12/2021	1.1.2
4	Parete portante in legno	02/12/2021	03/12/2021	1.2.1
5	Moduli prefabbricati serra	04/12/2021	06/12/2021	1.2.2
6	Copertura	07/12/2021	08/12/2021	2.4.1
7	Pareti non portanti	09/12/2021	11/12/2021	3.1.1
8	Infissi serra	12/12/2021	13/12/2021	2.1.2
9	Pavimentazione	14/12/2021	16/12/2021	2.2.1
10	Porte e infissi	17/12/2021	18/12/2021	3.1.2
11	Porta 1	17/12/2021	18/12/2021	3.1.2.1
12	Porta 2	17/12/2021	18/12/2021	3.1.2.2
13	Porta 3	18/12/2021	19/12/2021	3.1.2.3
14	Porta 4	18/12/2021	19/12/2021	3.1.2.4
15	Porta 5	18/12/2021	19/12/2021	3.1.2.5
16	Porta 6	19/12/2021	20/12/2021	3.1.2.6
17	Porta 7	19/12/2021	20/12/2021	3.1.2.7
18	Porta 8	19/12/2021	20/12/2021	3.1.2.8
19	Porta 9	19/12/2021	20/12/2021	3.1.2.9
20	Porta 10	20/12/2021	21/12/2021	3.1.2.10
21	Porta 11	20/12/2021	21/12/2021	3.1.2.11
22	Porta 12	20/12/2021	21/12/2021	3.1.2.12
23	Finestra 1	21/12/2021	22/12/2021	3.1.2.13
24	Finestra 2	21/12/2021	22/12/2021	3.1.2.14
25	Finestra 3	21/12/2021	22/12/2021	3.1.2.15
26	Finestra 4	22/12/2021	23/12/2021	3.1.2.16
27	Finestra 5	22/12/2021	23/12/2021	3.1.2.17
28	Finestra 6	22/12/2021	23/12/2021	3.1.2.18

Tabella 20. *Work Breakdown Elements* [Allegato 4]. Elaborato personale.

¹¹³ Work Breakdown Elements (WBE), elementi e macro attività elementari presenti nella WBS.

nel formato richiesto, apriamo Navisworks, il software di revisione dei modelli 3D utile a definire e simulare una cronologia di progetto. Una volta aperto Navisworks, attraverso la procedura "Inizio">"Aggiungi", carichiamo il modello Revit precedentemente salvato in formato nwc. È fondamentale che gli elementi in tabella abbiano corrispondenza con gli elementi del modello Revit motivo per cui viene creato nel progetto Revit un nuovo parametro condiviso, secondo la procedura "Gestisci">"Parametri progetto">"Aggiungi">"Parametro_condiviso">"Istanza">"Seleziona", creando così un file txt di parametri condivisi. Creato il file, attraverso la procedura "Gruppi">"Nuovo", si definisce il nome del nuovo gruppo di parametri e infine del parametro stesso, "Parametri">"Nuovo", andando a definire anche disciplina e tipo di parametro. Viene creato con questo procedimento il parametro "WBS Code": ogni oggetto di progetto avrà così un codice riferito alla normativa UNI 8290, denominato WBS Code e in grado di associarlo al file cvs utile a produrre la simulazione 4D. Avendo creato il WBS degli elementi e predisposto il modello Revit, torniamo su Navisworks. Dopo aver importato il modello da Revit, attraverso la procedura "Inizio">"TimeLiner">"Origine dati">"Aggiungi", importiamo il WBE in formato csv e aggiorniamo, ricostruendo la gerarchia delle attività solo dopo aver creato corrispondenza tra le colonne del programma e i campi esterni importati con il documento. In questa fase di mappatura è necessario associare alla voce "ID sincronizzazione" la colonna con codici univoci da noi denominata "WBS code", così da permettere la creazione di un diagramma di Gantt¹¹⁴.

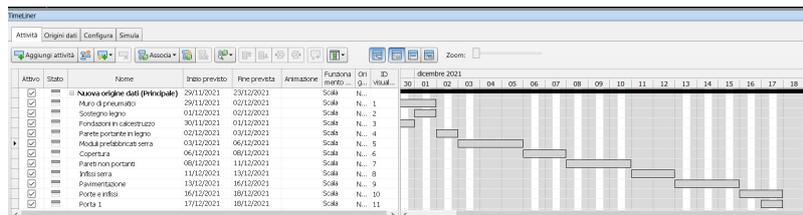


Figura 69. Diagramma di Gantt. Elaborato personale su software Navisworks.

È in questa sezione che si procede con l'associazione della geometria alle attività riportate, "Attività">"Associazione automatica tramite regole", e con la definizione del tipo di attività. Durante l'associazione sarà necessario creare nuove regole secondo descrizione: "Mappa attività TimeLiner dalla colonna ID sincronizzazione e elementi con la proprietà avente categoria Nome Entità e Nome proprietà 'WBS code', non distinguere tra maiuscole e minuscole". Si procede infine con la simulazione cronologica, esportabile in formato avi.

¹¹⁴ Diagramma di Gantt, strumento che mostra i compiti e le scadenze di progetto. Utile per la pianificazione poiché mostra le interferenze tra attività.

6.3 5D: Gestione dei costi

A partire dal modello BIM in tre dimensioni sarà possibile anche estrarre la documentazione riguardante l'associazione tra oggetti e costi. La quinta dimensione del BIM permette infatti di monitorare i costi di progetto nel corso del ciclo di vita. Per mezzo del software PriMus, utile nella realizzazione di computi metrici¹¹⁵ e nella contabilità, impostiamo i documenti che ci permetteranno di ottenere una stima dei costi. Aprendo Revit, alla voce "ArchVISION RP", sarà possibile avviare PriMus. Dopo aver creato un listino sarà possibile scaricare il prezzario desiderato secondo procedura "Apri">"Aprire prezzario da internet". Scegliamo il prezzario regionale "Piemonte del 2021" e selezioniamo le voci coerenti con il progetto Earthship andando a creare il nuovo listino. Una volta creato il listino prezzi trascinando le voci di interesse da prezzario regionale, torniamo su Revit, selezioniamo un oggetto da modello e, alla voce "ArchVISION RP">"Associa Famiglia", compiliamo l'apposita sezione riguardante la misurazione per famiglia, trascinando su Revit la voce corrispondente individuata nel prezzario su PriMus.

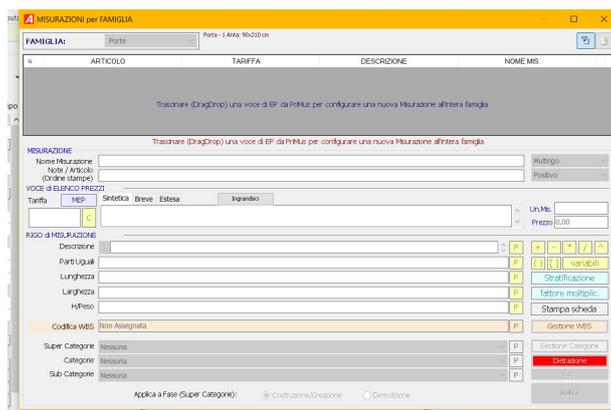


Figura 70. Associazione voci del prezzario alle famiglie su Revit.
Elaborato personale su software Autodesk Revit con PriMus.

Dopo aver ripetuto la stessa procedura per ogni famiglia del modello, si procede al salvataggio e all'esportazione del computo metrico, alla voce "Esporta computo". Nel nostro caso, quello dell'Earthship, sarà necessario tener conto, in fase di calcolo effettivo del computo metrico, delle voci non presenti su prezzario regionale, come ad esempio lo pneumatico fuori uso riutilizzato, le bottiglie di vetro/alluminio utilizzate per la creazione dei muri non portanti e la terra.

¹¹⁵ È possibile calcolare il computo metrico anche a partire dagli abachi estraibili direttamente da Revit.

7. Conclusioni

Riportiamo in ultimo le conclusioni, articolate in risultati, sviluppi futuri e considerazioni finali.

7.1 Risultati

Dopo aver affrontato tre delle dimensioni del BIM, riportiamo adesso i risultati ottenuti. Trovandoci ancora in difficoltà a definire le strategie progettuali definitive selezionate per la realizzazione di tale caso studio, illustriamo i risultati, pur non essendo essi accurati, al solo scopo di fornire lo strumento della metodologia BIM all'associazione OffGrid Italia. Speriamo in questo modo di riuscire a sottolineare i vantaggi di tale metodologia ma soprattutto gli sviluppi futuri. Dalla terza dimensione otteniamo, oltre al modello BIM preliminare, l'estrazione di abachi dei materiali e delle quantità, dalla quarta dimensione ricaviamo un cronoprogramma preliminare, arricchito da un'animazione, e infine, dalla quinta, una stima dei costi approssimativa.

7.1.1 Elaborati grafici

In seguito alla definizione del modello in tre dimensioni, geometrico e ricco di informazioni, è possibile estrarre tutti gli elaborati grafici necessari, nelle scale di rappresentazione preferite. L'estrazione e la qualità di tali elaborati (piante, sezioni, prospetti, nodi tecnologici, tavole, etc.), comprese le rappresentazioni digitali realistiche, come render e video virtuali¹¹⁶, e abachi, dipenderà dalla diligenza con cui verrà costruito il modello nelle sue parti geometriche e di inserimento dei dati. È fondamentale quindi aver chiaro quali siano i fornitori e i prodotti scelti per il progetto, preferendo elementi inclusivi di schede tecniche esaustive, così da facilitare la compilazione dei passaporti dei materiali, dei prodotti e quindi dell'edificio stesso.

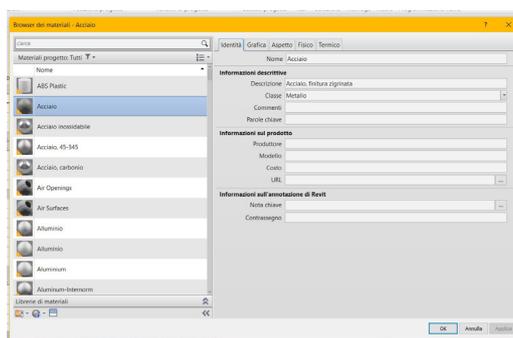


Figura 71. Scheda dati, o passaporto del materiale, su Revit. Sezioni relative all'identità, alla grafica, all'aspetto e alle caratteristiche fisiche e termiche del materiale. Elaborato personale su software Autodesk Revit.

¹¹⁶ Video virtuali, o tour virtuali, utili per presentare il progetto alla committenza. Solitamente realizzabili e visionabili per mezzo di visori o attraverso specifiche applicazioni per tablet.

7.1.3 Cronoprogramma

Al fine di ottenere un cronoprogramma che mostri la sequenza temporale del processo edilizio, viene utilizzato il software Navisworks. Riportiamo di seguito un codice QR di collegamento a uno dei video esportati in formato avi, per dare un'idea di cosa sia un cronoprogramma animato. La definizione del video dipenderà dalla definizione del modello 3D. Attraverso Navisworks sarà possibile confrontare le date di progetto previste con quelle effettive e monitorare il costo di un progetto, assegnando i rispettivi costi alle singole attività.



QRcode 2. Cronoprogramma animato_ Vista 1 [Allegato 4]. Elaborato personale su Autodesk Navisworks.

7.1.4 Stima dei costi

Grazie all'interoperabilità tra Revit e il software PriMus, sarà possibile ricavare una stima dei costi in relazione al prezziario¹¹⁸ prescelto, in questo caso quello della regione Piemonte 2021. Le entità del modello BIM verranno automaticamente individuate e, definendo le regole di misurazione, sarà possibile ottenere il computo metrico, avere controllo visivo delle entità computate e disporre di aggiornamento automatico in seguito a modifiche di progetto.

Q	U	Q	U	Q	U	Q	U
1	11.417,840,00						
RISERVAZIONE							
2	11.417,840,00						
RISERVAZIONE							
3	30.753,000,00						
RISERVAZIONE							
4	30.753,000,00						
RISERVAZIONE							

Figura 73. Esempio di computo metrico estratto grazie all'interoperabilità tra PriMus e Revit. Elaborato personale su software Autodesk Revit con PriMus.

¹¹⁸ La Regione Piemonte rientra tra le Regioni che si sono attivate al fine di integrare nei prezziari regionali le voci dei materiali a basso impatto ecologico conformi ai CAM. Pur trovando cenni di circolarità, sarà necessario, ai fini del computo metrico, risolvere la problematica derivante dall'utilizzo di pneumatici fuori uso, assenti nelle NTC e nei prezziari di ogni regione.

7.2 Sviluppi futuri

Avendo avuto come obiettivo quello di esplorare nuove metodologie per la progettazione circolare in architettura, molti sono i passi ancora da compiere per poter definire completo il modello BIM dell'Earthship. Oltre all'arricchimento e al perfezionamento del progetto architettonico sarà possibile procedere alla definizione del progetto impiantistico e strutturale con professionisti competenti, permettendo così successive analisi di carattere energetico, illuminotecnico, idraulico, meccanico e strutturale. Essendo sette¹¹⁹ le dimensioni ben conosciute del BIM, occorrerà esplorare anche la sesta e la settima, relative alla sostenibilità ambientale e al *Facility Management*. Riassumiamo in una matrice di interoperabilità i potenziali software utilizzabili in queste nuove indagini, includendo anche le operazioni già effettuate. In questa tabella

Verticale								ManTus Facility Management	Gestione 7D
	I						One Click ICA		Sostenibilità 6D
						PriMus Controllo Ambientale			Costi 5D
	R	N							Tempi 4D
				Dx	TerMus Protezioni Energetiche				Impiantistico 3D
		Tekla Structures	AxisVM						Strutturale 3D
	D								Architettonico 3D
	Orizzontale								

Schema 5. Flusso di lavoro per gli sviluppi futuri. Elaborato personale.

osserviamo come possa esser sfruttata l'interoperabilità tra Revit e Tekla Structure, altra piattaforma BIM, con l'obiettivo di creare il modello strutturale, validabile successivamente per mezzo del software AxisVM. Il progetto MEP, fatto su Revit, può esser invece sottoposto ad analisi per mezzo di software quali Dialux, per le analisi illuminotecniche, o TerMus, per il controllo termico dell'edificio, lasciando la possibilità di testare l'interoperabilità anche con altri software in grado di analizzare proprietà meccaniche, idrauliche o di qualsivoglia campo

¹¹⁹ In realtà le dimensioni del BIM sono dieci, considerando anche le ultime tre dimensioni ancora in fase di sviluppo e riguardanti la sicurezza in fase di cantiere, l'ottimizzazione della catena di produzione e l'industrializzazione delle costruzioni.

di applicazione. Tralasciando le dimensioni già abbondantemente approfondite, notiamo come per la sesta dimensione, relativa alla sostenibilità ambientale, si possa utilizzare il software Autodesk Insight, in unione con Revit, riuscendo così ad ottenere edifici più efficienti a livello energetico, oppure il *plugin* di Revit, OneClickLCA¹²⁰, utile a produrre l'analisi del ciclo di vita dell'edificio. La sesta dimensione, per mezzo dell'analisi del ciclo di vita riguardante anche i valori di EE e EC, risulta utile al fine di determinare il potenziale di circolarità. Per la settima e ultima dimensione, relativa al *Facility Management*, viene invece suggerito di approfondire il software ManTus, della casa produttrice ACCA, la stessa di PriMus, oppure software come Archibus o FM systems. Seppur ancora non diffuse al livello di quelle finora osservate, citiamo l'ottava, la nona e la decima dimensione, come ulteriore sviluppo futuro. L'ottava dimensione riguarda la sicurezza in cantiere e prevede di monitorare e prevenire il rischio di incidenti in fase di pianificazione. Tra i software per l'ottava dimensione, in grado quindi di progettare il cantiere e di visualizzarlo realisticamente per mezzo della realtà virtuale, troviamo ad esempio CerTus-HSBIM, della casa produttrice ACCA. La nona dimensione tratta tematiche relative all'ottimizzazione della gestione di un'opera. La decima dimensione riguarda invece l'industrializzazione delle costruzioni. Tra i software in grado di digitalizzare le costruzioni e le infrastrutture, ottimizzando tempo e risorse, aumentando la trasparenza, riducendo gli sprechi e promuovendo la condivisione e la collaborazione, troviamo ad esempio us-BIM, anch'esso della casa produttrice ACCA. Per concludere, tra gli sviluppi futuri vi è quello di produrre un gemello virtuale dell'edificio che prende il nome di *Digital Twin*¹²¹. Partendo da un modello statico (BIM), attraverso sensori e altri sistemi di acquisizione dati, viene creato un modello dinamico che acquisisce informazioni in tempo reale sulle prestazioni dell'edificio, migliorando sempre più la fase di *Facility Management*. Come anche evidenziato nel documento del GBC Italia, la metodologia BIM, prevedendo l'inserimento dei dati parallelamente alla modellazione della geometria, permette di avere una progettazione consapevole, versatile, capace di assumere un approccio eco sistemico e orientata sempre più facilmente al ciclo di vita del manufatto. Creando con il modello BIM un vero e proprio archivio digitale dell'edificio, sarà più facile pianificare le fasi del ciclo di vita e gestirle. Attraverso il BIM la vita utile dei prodotti/materiali avrà più possibilità di esser prolungata, progettando i possibili scenari di fine vita, valorizzando i materiali a disposizione e promuovendo così i principi dell'edilizia circolare.

¹²⁰ OneClickLCA, plugin di Revit. Software per la valutazione del ciclo di vita. Conforme agli standard EN/ISO e a oltre 40 certificazioni [EN 15978, EN 15804, EN 15942, ISO 21931-1, ISO 21929-1, ISO 21930, BREEAM, LEED, HQE, C+E].

¹²¹ *Digital Twin*, replica digitale di una qualsiasi entità fisica, utile a scambiare dati e informazioni in tempo reale o in modalità asincrona. Raccogliendo i dati attraverso sensori, il Digital Twin è utilizzato in ambito industriale per ottimizzare il funzionamento e la manutenzione. Si tratta di un ulteriore tassello della quarta rivoluzione industriale.

7.2.1 Famiglie Revit

Per mettere ordine e lasciare tracciabilità di quelli che sono stati i passi compiuti e di quelli che, nell'ottica attuale, potrebbero essere i passi ancora da compiersi, creiamo un file excel in cui elenchiamo gli elementi dell'Earthship che compaiono nel modello BIM al fine di facilitare l'eventuale collaborazione futura tra l'associazione Offgrid e i nuovi futuri tirocinanti/volontari. Il file excel è denominato "Allegato 3.0_Famiglie Revit Arch". Tra le famiglie necessarie alla creazione del modello BIM architettonico dell'Earthship troviamo: 1) Pneumatico, riferito agli pneumatici fuori uso utilizzati per il muro di sostegno, 2) Tondini di acciaio, da decidere come disporli, 3) Profilo copertura, in legno/cemento e acciaio, 4) Profilo serra, anch'essa in legno/cemento e acciaio, 5) Fondazioni in c.a., poste a sostegno della parete portante interna, 6) Parete portante in legno, che individuerà il locale serra, 7) Pareti non portanti legno, 8) Pareti non portanti mix, da falsare su Revit nella compilazione delle proprietà della stratigrafia, 9) Travi copertura, da decidere se circolare in legno o se sostituibile con capriate in legno, 10) Copertura, modificabile in fase di compilazione della stratigrafia, 11) Moduli serra, in legno e prefabbricati, 12) Sostegno bocchette e pannelli solari, in legno, a completamento della serra, 13) Finestre serra, 14) Finestre interne, 15) Porte ingresso, tra cui anche la porta per il bagno delle persone con disabilità, 16) Porte interne, 17) Porte bagni, 18) Pavimento, 19) Terra. Creiamo poi un file excel, "Allegato 3.1_Famiglie Revit MEP", in cui vengono elencati gli elementi dell'Earthship relativi al progetto impiantistico, ancora in fase di definizione, e un ulteriore file excel, "Allegato 3.2_Cantiere", in cui compaiono le attrezzature noleggiate in fase di cantiere, utili ad esempio nella simulazione in quarta dimensione. Tutti questi file sono preliminari e utili come punto di partenza in vista di possibili collaborazioni future. A partire dai dati inseriti sarà possibile evolvere il progetto capendo rapidamente e con facilità quali modifiche e quali passi compiere. Di seguito riportiamo un estratto dal file excel "Allegato 3.0_Famiglie Revit Architettonico" relativamente alla famiglia "1) Pneumatico".

Numero identificativo	Famiglia Revit	Materiale	Fornitore	Serie	Categoria Revit	Stato progetto	Finezioni di progetto	WBS Code (per cronoprogramma)
1	Pneumatico	Gomma+terra	CCS	225/70 R15C	Modelli Generici	Inserire proprietà elemento costruttivo. Arretrare di 4 cm ogni corso, se previsto	Decidere la tipologia costruttiva, se monolitica o tradizionale	1.3.1

Tabella 21. Voce "1) Pneumatico" ["Allegato 3.0_Famiglie Revit Arch"]. Elaborato personale.

7.3 Considerazioni finali

Partendo questa tesi dalla volontà e dalla necessità di indagare e promuovere lo sviluppo sostenibile, è stato scelto come caso studio il progetto Earthship, anch'esso ideato a partire dalle stesse motivazioni. Le sfide affrontate in questa tesi riguardano da una parte la necessità di approfondire lo stato dell'arte relativo allo sviluppo sostenibile e dall'altra la volontà di abbracciare l'innovazione tecnologica, qualora comportasse miglioramenti significativi. Per tale motivo ho deciso di approfondire le potenzialità della metodologia che ha stravolto la progettazione edilizia: il Building Information Modeling (BIM). Questa metodologia innovativa permette di migliorare il processo di pianificazione, di costruzione, di esercizio e di manutenzione, promuovendo così un approccio "life cycle". Durante lo svolgimento della tesi è stato dunque elaborato un modello BIM preliminare dell'Earthship con l'obiettivo di coniugare sviluppo sostenibile e innovazione tecnologica. La scelta di costruire tale modello multidimensionale, il quale sarà reso disponibile all'associazione OffGrid Italia, è stata rafforzata nel corso della tesi dai risultati ottenuti analizzando il documento sulle linee guida per la progettazione circolare pubblicato dal Green Building Council Italia nel 2020. Una parte importante del lavoro svolto è stata l'ideazione di un sistema a punteggio in grado di valutare la conformità dell'Earthship alle linee guida del documento sopracitato. Il risultato ottenuto da tale valutazione evidenzia come, contrariamente alle aspettative, soltanto il 40% dei requisiti richiesti vengano soddisfatti dal progetto Earthship. Dall'analisi del documento emerge come il BIM venga considerato uno strumento di supporto per la progettazione circolare degli edifici. Grazie alla realizzazione di un modello *bim-oriented* è possibile disporre di una *dataroom* della componentistica, di piani di manutenzione e dei restanti elaborati richiesti dal GBC Italia nelle linee guida, permettendo in questo caso di incrementare la percentuale di circolarità del progetto Earthship (dal 40% a circa l'80%). Il modello digitale conferisce inoltre la possibilità di riunire e conservare tutte le alternative progettuali, quelle tradizionali o quelle che prevedano ad esempio l'integrazione del *Design for Decostruction* o la sostituzione di elementi costruttivi non presenti nelle NTC, come nel caso degli pneumatici fuori uso. Per mezzo della metodologia BIM sarà possibile testare e approfondire ogni soluzione progettuale, al fine di individuare la migliore. L'intero lavoro di tesi, dall'analisi del documento sulle linee guida per la progettazione circolare all'applicazione della metodologia BIM al

progetto Earthship, si propone di valorizzare un modulo abitativo nato eccezionalmente nel deserto del New Mexico, in un periodo storico in cui ancora non si parlava di BIM e di ciclo di vita. Vista l'intenzione di inserire l'Earthship in un contesto sperimentale come quello del parco Reland, fondato sui concetti di economia ed edilizia circolare, potrebbe essere opportuno intendere il modello BIM come eventuale trampolino di lancio per la realizzazione di un *Digital Twin* dell'Earthship. L'implementazione di un tale modello dinamico permetterebbe di dimostrare la straordinarietà, la precocità e l'efficienza energetica di un modulo abitativo che con i suoi sei principi risolve molti degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Il mio personale auspicio è quello di poter assistere e partecipare un giorno all'effettiva realizzazione di un modulo Earthship su territorio italiano. Concludo dicendo che, nei limiti di quelle che saranno le mie scelte future, mi piacerebbe poter continuare a collaborare con l'associazione OffGrid Italia, alla quale fornisco un opuscolo sul BIM che ne riassume i concetti chiave e i punti di forza.



QRcode 3. Opuscolo BIM [Allegato 5]. Elaborato personale.

Allegati

Gli allegati preparati per questa tesi, compresi quelli visibili per mezzo dei QRcode, verranno consegnati all'associazione OffGrid Italia attraverso una piattaforma di condivisione. Essi sono: Allegato 1_Capitolato Informativo, Allegato 2_Raccolta fotografica, Allegato 3_Famiglie Revit, Allegato 4_Cronoprogramma, Allegato 5_Opuscolo BIM, Allegato 6_Modello BIM, Allegato 7_Business Model Canvas.

**Bibliografia, Tesi e Dossier,
Sitografia, Filmografia e
Videografia**

Bibliografia

Quarta rivoluzione industriale

Schwab, K. (2016). *La quarta rivoluzione industriale*. Franco Angeli.

Sviluppo sostenibile

Taddia, F. & Palazzi, E. (2019). *Perchè la Terra ha la febbre?*. Editore scienza.

Edilizia circolare

Giordano, R. (2010). *I Prodotti per l'edilizia sostenibile, la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*. Italia. Sistemi editoriali.

Earthship

Reynolds, M. (1990). *Earthship*, vol. I, II, III. Taos, New Mexico. America, Solar Survival Press.

BIM

Lo Turco, M. (2015). *Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio. Dieci anni di ricerche e di applicazioni - BIM and infographic representation in the construction process. A decade of research and applications*. Ariccia (RM). Aracne.

Del Giudice, M. (1990). *BIM handbook for building and civil engineering students*. Torino. Levrotto & Bella.

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

Osello, A. & Fonsati, A. & Rapetti, N. (2019). *InfraBIM. Il BIM per le infrastrutture*. Roma. Gangemi International.

Chuck, E. & (A cura di) Di Giuda, G.M. & Villa, V. (2016). *Il BIM : guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Edizione italiana. Milano. Hoepli.

Osello, A. & Acquaviva, A. (2015). *Building Information Modelling, Geographic Information System, Augmented Reality per il Facility Management*. Palermo. Flaccovio.

Altro

Friedman, Y. (2019). *L'architettura di sopravvivenza. Una filosofia della povertà*. Torino, Italia. Bollati Boringhieri Editore.

Piano, R. (2014). *La responsabilità dell'architetto. Conversazione con Renzo Cassigoli*. Firenze, Italia. Passigli Editore.

De Carlo, G. (2013). *Architettura della partecipazione*. Macerata, Italia. Quodlibet srl.

Goleman, D. (1999). *Intelligenza emotiva Che cos'è, perché può renderci felici*. Rizzoli. BUR Grandi saggi.

Dossier e Tesi

Sviluppo sostenibile

Coastadapt. *What are the RCPs?*. <https://coastadapt.com.au/sites/default/files/info-graphics/15-117-NCCARFINFOGRAPHICS-01-UPLOADED-WEB%2827Feb%29.pdf>

Ministero della transazione ecologica. *I 26 principi*. https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/educazione_ambientale/stocolma.pdf

Contesto Nazionale

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. *Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile*. https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio_immagini/Galletti/Comunicati/snsvs_ottobre2017.pdf

Camera dei deputati. *Legge di bilancio 2017*. <https://www.camera.it/temiap/2016/12/23/OCD177-2628.pdf>

Camera dei deputati. *La legge di bilancio 2020 e lo Sviluppo Sostenibile*. https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/06/RapportoAnalisiLeggeBilancio2020_28feb_1_.pdf

Economia circolare

Il sole 24 h. *Disegno di Legge, Green New Deal e transizione ecologica del paese*. In Collegato Ambientale 2020, https://i2.res.24o.it/pdf2010/Editrice/ILSOLE24ORE/ILSOLE24ORE/Online/_Oggetti_Embedded/Documenti/2020/08/18/proposta-collegato-ambientale2020.pdf

Antonini, E. & Scolaro, A. M. (2019). *Recycling, downcycling e upcycling in edilizia, Building recycling, downcycling and upcycling*. In (a cura di) Baratta, A. F. L. (2019). *Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia, dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare*.

Geissdoerfer, M. & Savaget P. & Bocken N. M. P. & Hultink E. J. (2016). *The Circular Economy. A new sustainability paradigm?*. In *Journal of Cleaner Production* 143 (2017), pp 757-768.

Russo, M. (2018). *Ripensare la resilienza, progettare la città attraverso il suo metabolismo*, In *Techne* 15, pp 39-44.

Giorgi, S. & Lavagna M. & Campioli A. (2017). *Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte*. In *Ingegneria dell'Ambiente* Vol. 4 n. 3/2017.

Koumparou D. (2017). *Circular economy and social sustainability. Proceedings of Solid Waste Management & its Contribution to Circular Economy*.

Edilizia circolare

Green Building Council Italia (2019). *Economia circolare in edilizia*.

Green Building Council Italia (Settembre 2020). *Linee guida per la progettazione circolare di edifici*.

Direttiva 2008/98/CE (19 novembre 2008). *Direttiva relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20150731&from=ET>.

Earthship

Earthship Bioteecture, *Booklet*.

Tantillo, D. (2020). *Applicazione del concept Earthship in Italia - Application of the 'Earthship' concept in Italy*, Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile.

Pocaforza, V. (2014-2015). *Progetto di un edificio in terra cruda e pneumatici riciclati (Earthship): aspetti strutturali*.

Massimello, C. (2010). *Analisi progettuale di un edificio in materiale di riuso, offgrid e zero carbon : dall'Earthship esistente di Brighton all' Earthship ipotetica di Torino*, Politecnico di Torino, Corso di laurea specialistica in Architettura (Costruzione).

Sitografia

Quarta rivoluzione industriale

WORLD ECONOMIC FORUM, *Fourth Industrial Revolution*, <https://www.weforum.org/focus/fourth-industrial-revolution>

IL SOLE 24 ORE, *Davos 2020, cos'è e perché è nata la riunione dell'élite mondiale*, <https://www.ilsole24ore.com/art/davos-2020-cos-e-e-perche-e-nata-riunione-dell-elite-mondiale-ACKjD5CB>

BORSA ITALIANA, *Industria 4.0: la Quarta Rivoluzione Industriale*, <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/rivoluzione-252.htma>

ABMSTUDIO, *L'Italia è pronta per la quarta rivoluzione industriale?*, <http://abm.studio/litalia-e-pronta-per-la-quarta-rivoluzione-industriale/>

IL SOLE 24 ORE, *Schwab (Wef): «L'industria 4.0 rivoluziona i modelli di business»*, <https://st.ilsole24ore.com/art/commenti-e-idee/2016-12-08/schwab-wef-l-industria-40-rivoluzione-modelli-business-201401.shtml?uuid=ADB3Y69B>

Sviluppo sostenibile

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA, *Il contesto internazionale*, <https://www.minambiente.it/pagina/il-contesto-internazionale>

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE, *Conference of the Parties (COP)*, <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>

IL SOLE 24 ORE, *Verso un mondo sostenibile*, <https://lab24.ilsole24ore.com/sostenibilita-ambientale-2020/>

AGENZIA PER LA COESIONE TERRITORIALE, *Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile*, <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>

IPCC, *The Intergovernmental Panel on Climate Change*, <https://www.ipcc.ch/>

TRECCANI, *Stoccolma, conferenza di*, https://www.treccani.it/enciclopedia/conferenza-di-stoccolma_%28Dizionario-di-Economia-e-Finanza%29/

TRECCANI, *forzante radiativo*, [https://www.treccani.it/enciclopedia/forzante-radiativo_\(Lessico-del-XXI-Secolo\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/forzante-radiativo_(Lessico-del-XXI-Secolo)/)

FAOSTAT, *Faostat*, <https://www.fao.org/faostat/en/>

OUR WORLD IN DATA, *Emissions by sector*, <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Economia circolare

LIFEGATE, *Perché serve una nuova moda circolare*, <https://www.lifegate.it/serve-una-nuova-moda-circolare>

ENEL X, *Entra nella circolarità*, <https://www.enelx.com/it/it/economia-circolare/definizione-e-principi>

ECO CERTIFICAZIONI, *Economia circolare*, <https://www.eco-cert.it/servizi/economia-circolare/>

CAMERA DEI DEPUTATI, *Collegato ambientale*, https://www.camera.it/leg17/522?tema=collegato_ambientale

SFRIDOO, *Cos'è la Ellen MacArthur Foundation e il suo legame con l'Economia Circolare*, <https://www.sfridoo.com/2021/03/04/economia-circolare/cose-ellen-macarthur-foundation-e-legame-con-economia-circolare/>

PARLAMENTO EUROPEO, ATTUALITÀ, *Pacchetto sull'economia circolare: nuovi obiettivi di riciclaggio dell'UE*, <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20170120STO59356/pacchetto-sull-economia-circolare-nuovi-obiettivi-di-riciclaggio-dell-ue>

PARLAMENTO EUROPEO, ATTUALITÀ, *Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi*, <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20170120STO59356/pacchetto-sull-economia-circolare-nuovi-obiettivi-di-riciclaggio-dell-uea>

TRECCANI, *Latouche, Serge*, <https://www.treccani.it/enciclopedia/serge-latouche/>

EUROSTAT, *Database*, <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA, *Capitale Naturale e Servizi Ecosistemici*, <https://www.mite.gov.it/pagina/capitale-naturale-e-servizi-ecosistemici>

Edilizia circolare

ARUP, *The Circular Economy in the Built Environment*, <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>

ARUP, *The Circular Building*, <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building>

ARCHDAILY, *Green Pea Retail Park / Acc Naturale Architettura + Negozio Blu Architetti*, <https://www.archdaily.com/955542/green-pea-retail-park-acc-naturale-architettura-plus-negozi-blu-architetti>

INFOBUILDENERGIA, *Torino, il Green Pea di Farinetti*, <https://www.infobuildenergia.it/torino-il-green-pea-di-farinetti/>

COMMISSIONE EUROPEA, *Level(s)*, https://ec.europa.eu/environment/levels_en

ARCHDAILY, *Arup Designs Prototype Building Based on Circular Economy Principles*, <https://www.archdaily.com/868121/arup-designs-prototype-building-based-on-circular-economy-principles>

INFOBUILDENERGIA, *NZEB: cosa sono gli edifici a energia quasi zero*, <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/nzeb-cosa-sono-gli-edifici-a-energia-quasi-zero/>

ITC, *La Tecnologia SIP*, <https://group-itc.it/i-pannelli-sip-e-le-travi-tt/>

TECNO, *Certificazione EPD*, <https://www.certificazioneepd.it>

GREEN BUILDING COUNCIL ITALIA, <https://www.gbccitalia.org/>

CONSORZIO CHIERESE PER I SERVIZI, <http://www.ccs.to.it/chi-siamo>

CONSIGLIO EUROPEO, *Green Deal europeo*, <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/>

BAMB, *Buildings as Material Banks*, <https://www.bamb2020.eu/>

PLANGEL, *Piani di Manutenzione*, <https://support.plangei.it/conoscenze-base/programma-di-manutenzione/>

Earthship

RELAND, *Un passo per il cambiamento*, <https://www.reland.one/>

COMUNICATI STAMPA GRATIS, *Presentato Eco 3R: il progetto finanziato dal Consorzio Chierese per i servizi e dal Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino e finanziato da AtoR*, <https://comunicatistampagratis.it/presentato-eco-3r-il-progetto-finanziato-dal-consorzio-chierese-per-i-servizi-e-dal-dipartimento-di-architettura-e-design-del-politecnico-di-torino-e-finanziato-da-ator/103303/>

EARTHSHIP BIOTECHTURE, *Earthship*, <https://www.earthshipglobal.com/>

ARCHITECTURALDIGEST, *This Architect Is Promoting Self-Sustaining Architecture Around the Globe*, <https://www.architecturaldigest.com/story/architect-promoting-self-sustaining-architecture-around-globe>

GREENME, *Earthship: viaggio tra le case di terra e rifiuti di Michael Reynolds*, <https://www.greenme.it/abitare/bioedilizia-e-bioarchitettura/earthship-case-terra-rifiuti-michael-reynolds/>

GREENME, *Earthship: la casa auto sostenibile e offgrid per eccellenza*, <https://www.green.it/earthship-la-casa-auto-sostenibile-offgrid-eccellenza/>

RELAND, *Parco sperimentale*, <https://www.reland.one/parco/>

BIM

GUIDAEDILIZIA, *Quali sono i vantaggi e svantaggi di BIM?*, <https://www.guidaedilizia.it/bim/vantaggi-e-svantaggi/>

BIBLUS, *Come si redige il Capitolato Informativo nella metodologia BIM: in inchiesta pubblica la UNI 11337-6*, <https://biblus.acca.it/capitolato-informativo-inchiesta-pubblica-uni-11337-6/>

BIBLUS, *WBS (Work Breakdown Structure): cos'è e come si utilizza*, <https://biblus.acca.it/focus/wbs-work-breakdown-structure-cose-si-utilizza/>

BIBLUS, *Come si redige il Capitolato Informativo secondo la UNI 11337-6 (Parte 2)*, <https://biblus.acca.it/si-redige-capitolato-informativo-secondo-la-uni-11337-6-parte-2/>

BIBLUS, *La UNI 11337-5, la quinta parte della normativa tecnica italiana sul BIM*, <https://biblus.acca.it/la-uni-11337-5-la-quinta-parte-della-normativa-tecnica-italiana-sul-bim/>

BIBLUS, *ACDat (ambiente di condivisione dati) – parte 1*, <https://biblus.acca.it/focus/ac-dat-ambiente-di-condivisione-dati/>

SHELIDON, *Da SketchUp a Revit con Formit (e tanta tanta pazienza)*, <https://www.shelidon.it/?p=4013>

SARCE PLAN, *WBS E WBE*, <https://sarceplan.com/wbs-e-wbe/>

ACCA, *ManTus*, <https://www.acca.it/software-piano-manutenzione>

ONECLICKLCA, *Calculate your environmental impacts in minutes*, https://www.oneclicklca.com/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=WEU%202020%20Search&gclid=EAIaIQobChMIj4Hm1_iw9QIVeRXUAR0k5QpVEAAYASA-AEgI2B_D_BwE

01BUILDING, *Bim e Computational Design: progettazione tramite algoritmi*, <https://www.01building.it/bim/bim-computational-design-progettazione-algoritmi/>

Filmografia e Videografia

Sviluppo sostenibile

EDITORIALE SCIENZA, *Cambiamenti climatici spiegati ai bambini | Perché la Terra ha la febbre? | Editoriale Scienza*, <https://www.youtube.com/watch?v=dGepJcr3R54>

Earthship

Oliver, H. (2007). *Garbage Warrior*. <https://vimeo.com/433471547>

Miglio, F. & Turci A. (2015). *Don't Flush Your Freedom*. <https://www.amazon.com/Dont-Flush-Freedom-Federica-Miglio/dp/B07FPPBBSX>

EARTHSHIP BIOTECHTURE, *Earthship Biotecture*, <https://www.youtube.com/c/earthship>

OFFGRID ITALIA, *Off Grid Italia*, https://www.youtube.com/channel/UCqu_eRstsagM_5IQLjInkMw

BIM

ADARA ARCHITETTURA CENTRO AUTODESK, *Progettazione BIM*, <https://www.youtube.com/c/AdaraArchitetturaCentroAutodesk>

NARCHVIZ, *Tutorial Revit*, <https://www.youtube.com/channel/UCt3WU2Gjz00SoeMN-CBDi8w>

DRAWING TO THE FUTURE, <https://www.youtube.com/user/PoliToBIM>

Ringraziamenti

Prima di tutto vorrei ringraziare Antonio Marco Mangione, presidente dell'associazione OffGrid Italia, per avermi coinvolto in questo progetto e per aver riacceso in me l'entusiasmo, affievolito nel corso di questi ultimi anni. Ringrazio la professoressa Elena Piera Montacchini per aver accolto la mia proposta di tesi e per avermi accompagnato in questo percorso. Rivolgo un ringraziamento speciale alla mia corelatrice Arianna Fonsati, per i consigli tecnici e la disponibilità, e alla professoressa Anna Osello, per avermi dato la possibilità di frequentare il corso *Parametric and algorithmic modeling*, senza il quale non avrei capito che questa laurea non è un punto di arrivo ma bensì un punto di partenza. Ringrazio inoltre il Politecnico di Torino per avermi permesso di incontrare persone che mi hanno cambiato la vita. Ringrazio Edisu per avermi concesso la possibilità di studiare al Politecnico di Torino. Ringrazio sicuramente la mia famiglia di sangue, in particolare la mia splendida mamma, il mio straordinario papà e sicuramente Alessandro, mio amico e fratello. Ringrazio Chantal, la mia seconda mamma, per il flusso di energia positiva. Ringrazio la mia famiglia allargata, in particolare Flavio per il costante lavoro di squadra, Francesco per l'infinita pazienza, Silvio per la scioccante perseveranza, Ilaria per il continuo confronto, Maria Chiara e Viviana per la semplicità, Angelo per la sua doppia natura, Pier per esser rimasto, Jlenia per il pensiero, Riccardo e Simone per quelle cose belle alle quali non poter dare un nome. Ringrazio i compagni di trekking e di giochi da tavolo per aver reso unici questi anni. Ringrazio inoltre i miei amici presenti ma lontani, tra cui la mia cara amica Lisa, Elena, Patrizia, Costanza, Dario, Benedetta, Iacopo, Silvia, Colette, Virginia, Filippo, Andrea, "Salvatore", Michele e tutti gli altri. Ringrazio le Witch, le mie amiche d'infanzia, sempre presenti nonostante le difficoltà. Ringrazio tutte queste personcine per aver sempre mostrato autenticità e affetto. In ultimo, ringrazio le mie dolci gatte, Amelie e Fiona, senza le quali non avrei trovato la concentrazione per concludere questa tesi.