

ECONOMIA CIRCOLARE IN EDILIZIA

STRATEGIE DI APPLICAZIONE, CASI STUDIO E VALUTAZIONI LCA



A cura di:

Luca Aramu
874711

Martina Mostacchi
874215

Anno Accademico: 2017/2018

Relatore: Prof.ssa Arch. Monica Lavagna

Correlatore: Arch. Serena Giorgi

Scuola di Architettura Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni
Laurea Magistrale in Architettura
Progettazione tecnologica e ambientale



POLITECNICO
MILANO 1863



POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni
Laurea Magistrale in Architettura
Progettazione tecnologica e ambientale

ECONOMIA CIRCOLARE IN EDILIZIA

STRATEGIE DI APPLICAZIONE, CASI STUDIO E VALUTAZIONI LCA

A cura di:

Luca Aramu
874711

Martina Mostacchi
874215

Anno Accademico: 2017/2018

Relatore: Prof.ssa Arch. Monica Lavagna

Correlatore: Arch. Serena Giorgi

In copertina:

H. Weges (Fotografo),

Reusable waste from old houses and buildings

Ede, Olanda

1 giugno 2015

Da: <https://www.alamy.com/reusable-waste-from-old-houses-and-buildings-image225218275.html>

Indice

Indice delle figure.....	12
Indice delle tabelle.....	22
Indice dei grafici.....	25
Abstract.....	29
Introduzione.....	31
Glossario.....	33

PARTE I – STATO DELL'ARTE

1. Economia circolare.....	41
1.1 Cos'è l'economia circolare.....	41
1.2 Origine del termine.....	45
1.3 I principi dell'economia circolare.....	46
1.4 Verso una progettazione circolare in edilizia: principi progettuali.....	49
1.4.1 Gli Hannover Principles.....	51
1.4.2 Designing out waste (DoW).....	51
1.4.3 Design for Disassembly (DfD).....	52
1.4.4 Shearing layers.....	53
2. Dal rifiuto alla risorsa: dimensionamento del problema.....	54
2.1 Il problema dei rifiuti alla macro scala.....	54
2.1.1 Strategie e buone pratiche alla macro scala.....	56
2.2 Il problema dei rifiuti nel settore edile.....	57
2.2.1 I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) nell'UE.....	58
2.2.2 I rifiuti da C&D in Italia.....	59
2.2.3 Gli edifici in abbandono.....	60
2.3 L'approvvigionamento delle risorse.....	61
3. Il quadro normativo.....	62
3.1 Evoluzione a scala europea.....	62
3.1.1 Normative in ottica circolare.....	65
3.2 La situazione italiana.....	67
3.2.1 Normative in ottica circolare.....	70
3.2.2 Green Public Procurement (GPP) e i Criteri Ambientali Minimi (CAM).....	71

4.	Reimpiego della materia in architettura e arte nella storia.....	72
4.1	Il reimpiego in architettura.....	73
4.2	Il reimpiego in arte.....	76
4.3	Conclusione.....	80
5.	Valutazione LCA a supporto del processo edilizio circolare.....	80
5.1	Il Life Cycle Thinking.....	80
5.2	Il Life Cycle Assessment (LCA) in edilizia.....	82
5.2.1	Normativa per l'applicazione dell'LCA in edilizia.....	83
5.2.2	I confini del sistema.....	84
5.2.3	L'applicazione dell'LCA all'edificio.....	85
5.2.4	Criticità e opportunità.....	86
6.	Gli strumenti di informazione ambientale.....	87
6.1	Gli indicatori ambientali.....	87
6.1.1	Embodied Energy.....	87
6.1.2	Embodied Carbon.....	88
6.1.3	Carbon Footprint e Waterfoot print.....	88
6.2	Le Dichiarazione e le Etichettature ecologiche di prodotto.....	89
6.2.1	EPD, Environmental Product Declaration.....	91
6.2.2	Certificazione C2C.....	91
6.3	Le certificazioni ambientali degli edifici.....	92
6.3.1	Il Protocollo ITACA.....	93
6.3.2	Il Protocollo LEED Italia.....	93
7.	Applicazione dell'economia circolare in edilizia.....	94
7.1	Scenari d'intervento.....	95
7.1.1	Alla scala dell'edificio.....	95
7.1.2	Alla scala del materiale.....	97
7.2	I principi progettuali.....	98
8.	Considerazioni conclusive.....	100
PARTE II – ANALISI DEI CASI STUDIO		
9.	Metodologia di raccolta dei casi studio.....	102

10. Casi studio	105
10.1 Council House 2.....	106
10.2 Conceptos Plasticos.....	108
10.3 Sawmill House.....	109
10.4 Sede Azienda Savno.....	110
10.5 People's Pavilion.....	112
10.6 TVZEB.....	114
10.7 Big Dig House.....	116
10.8 Bima Microlibrary.....	118
10.9 Dezanove House.....	120
10.10 Jellyfish Theatre.....	121
10.11 Temporary Pavilion.....	122
10.12 Una Escuela Sustentable.....	123
10.13 Barn Again.....	126
10.14 Ningbo Museum.....	126
10.15 Recycled Materials Cottage.....	127
10.16 Kamikatz Public House.....	128
10.17 TY Pren.....	130
10.18 Upcycle House.....	132
10.19 Villa Welpeloo.....	134
10.20 Collage House.....	136
10.21 Waste House.....	138
10.22 Capilla San Bernardo.....	139
10.23 California Academy of Sciences.....	140
10.24 Clay Roof House.....	142
10.25 Tongjiang Recycled Brick School.....	144
10.26 S11 House.....	145
10.27 School of Nursing.....	146
10.28 Chartwell School.....	148
10.29 BRE Building.....	150
10.30 Auditorium Niccolò Paganini.....	151
10.31 Brin 69.....	152
10.32 Casa Mediterraneo.....	154
10.33 Gemini Residence.....	155
10.34 Leszczynski Antoniny Manor Intervention.....	156
10.35 The Silo.....	158

10.36 Aizkibel Library Extension.....	160
10.37 Protiro.....	162
10.38 Sidwell Friends Middle School.....	163
10.39 Cubo House.....	164
10.40 Alliander HQ.....	166
10.41 Metamorfose.....	168
10.42 Padiglione Kuwait.....	170
10.43 Padiglione Uruguay.....	171
10.44 Nomadic Museum.....	172
10.45 Circular Pavilion.....	174
11. Lettura critica dei casi studio.....	177
 PARTE III – ANALISI LCA E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	
12 Scenari d'intervento a confronto.....	189
12.1 Nuova costruzione o riuso dell'esistente: criticità e punti di forza.....	189
12.1.1 Nuova costruzione su suolo libero.....	189
12.1.2 Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione nuovo edificio nello stesso sito.....	189
12.1.3 Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti.....	190
12.1.4 Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito.....	190
12.1.5 Conclusioni.....	191
12.2 Riciclo e riuso del materiale.....	192
12.2.1 Criticità e punti di forza.....	192
12.2.2 Valutazione delle prestazioni residue dei materiali di riutilizzo.....	193
12.2.3 Durabilità.....	194
12.2.4 Adeguatezza tecnologica e dimensionale.....	195
12.2.5 Indoor Air Quality.....	196
12.2.6 Ostacoli allo sviluppo.....	198
12.2.7 I mercati di scambio dei materiali residuali.....	199
13. Valutazioni LCA relative ai casi studio.....	202
13.1 Confronto tra edifici con materiali di riciclo/riuso ed edifici con nuovi materiali.....	202
13.1.1 Il caso studio Villa Welpeloo.....	204
13.1.2 Il caso studio Ty Pren.....	209
13.1.3 Considerazioni conclusive.....	214

13.2 Riuso dell'edificio.....	215
13.2.1 Il caso studio The Silo.....	215
13.2.2 Considerazioni conclusive.....	218
13.3 Design for Decostruction.....	219
13.3.1 Il caso studio del Padiglione Expo dell'Uruguay.....	219
13.3.2 Considerazioni conclusive.....	222
13.4 Design for Adaptability.....	224
13.4.1 Il caso studio BRIN 69.....	224
13.4.2 Considerazioni conclusive.....	227
13.5 Progettazione secondo Layers.....	229
13.5.1 Il caso studio Ty Pren.....	229
13.5.2 Considerazioni conclusive.....	232
13.6 Progettare per la prefabbricazione.....	233
13.7 Gestione dei rifiuti da C&D.....	235
13.8 Presenza di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita.....	237
13.8.1 Il caso studio Tvzeb.....	237
13.8.2 Considerazioni conclusive.....	238
13.9 Presenza di materiali locali.....	239
13.9.1 Il caso studio Aizkibel Library Extension.....	239
13.9.2 Considerazioni conclusive.....	241
13.10 Conclusioni.....	242
14. Linee guida per una progettazione in ottica circolare.....	244
Conclusioni.....	248
Appendice.....	250
Bibliografia.....	284

Indice delle figure

PARTE I

Capitolo 1

Figura 1.1: Rapporto tra sistema artificiale dell'uomo e sistema naturale; Fonte: Wackernagel, Rees, 1996;.....	41
Figura 1.2: Conseguenze dell'eccessiva crescita demografica; Fonte: https://www.ecoage.it/ ;	41
Figura 1.3: Industria Kalundborg 2015; Fonte: https://www.symbiosis.dk/en/ ;	42
Figura 1.4: Il processo di trattamento dei pneumatici fuori uso; Fonte: https://www.ecopneus.it/ ;	43
Figura 1.5: Dati sistema Corepla; Fonte: Tool LCC Conai;.....	43
Figura 1.6: La EllenMacarthur Foundation è un ente nato in America, con sede a Chicago, finalizzato ad accelerare la transizione dello sviluppo dell'economia globale, con particolare attenzione verso l'economia circolare. La Fondazione opera in tre aree: Education, ispirare una generazione a ripensare il futuro, Business, sviluppare l'innovazione nelle imprese e Insight, la possibilità di una rivoluzione re-design; Fonte: EllenMacarthur Foundation;.....	44
Figura 1.7: Il ciclo biologico della filosofia "Cradle to Cradle"; Fonte: William McDonough e Michael Braungart, 2002;.....	45
Figura 1.8: Il ciclo tecnico della filosofia "Cradle to Cradle"; Fonte: William McDonough e Michael Braungart, 2002;.....	45
Figura 1.9: Diagramma di sistema dell'economia circolare; Fonte: Ellen Macarthur Foundation;.....	46
Figura 1.10: Il sistema lineare; Fonte: https://www.reseachgate.net/ ;	47
Figura 1.11: Il sistema circolare; Fonte: https://www.reseachgate.net/ ;	47
Figura 1.12: Lo scritto di William McDonough e Michael Braungart, 1992; Fonte: C2C Centre;.....	51
Figura 1.13: Marchio WRAP, Waste & Resources Action Program; Fonte: https://www.wrap.org/ ;	51
Figura 1.14: I sei livelli di Stewart Brand Fonte: Brand,1994;.....	53

Capitolo 2

Figura 2.1: Tecnologia svedese Envac per la raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani. L'immondizia, aspirata in condotte sotto vuoto, corre per vie sotterranee a 70 chilometri all'ora verso la centrale di smistamento, distante circa 4 km. L'unica condizione chiesta agli utenti è la differenziazione della plastica, carta e organico. Una volta giunti, i rifiuti vengono ulteriormente differenziati e mediante impianti altamente ecologici essi vengono impiegati per produrre energia; Fonte: Envac;.....	56
---	----

Capitolo 3

Figura 3.1: Principio gerarchico dei rifiuti; Fonte: https://www.differenziamo.com/ ;	63
--	----

Capitolo 4

Figura 4.1: Nei soli due anni 1451-1452 si asportarono 2.522 carri di pietre dal Colosseo, per essere utilizzati nella costruzione di S. Pietro e delle mura della città; Fonte: Ada Gabucci, Milano 1999;.....	74
Figura 4.2: Terremoto di Messina 1908; Fonte: Giovanni Mongiòvi;.....	74

Figura 4.3: Odéion di Efeso; Fonte: https://www.egramma.it/ ;	75
Figura 4.4: Cancellata della tenuta Guell; Fonte: https://www.vivagaudi.org/ ;	75
Figura 4.5: Accesso all'Acropoli di Atene; Fonte: https://www.divisare.com/ ;	76
Figura 4.6: Thumb House, Michael Reynolds, 1972; Fonte: https://www.my_architecture.com/ ;	76
Figura 4.7: Nature morte à la chaise carrée, Picasso, 1912; Fonte: https://www.arteworld.it/ ;	77
Figura 4.8: Merzbau, Kù Schwitters, (1923-1936); Fonte: https://www.moma.org/ ;	77
Figura 4.9: Bicycle Wheel, Marcel Duchamp, 1913; Fonte: https://www.moma.org/ ;	78
Figura 4.10: Voltri-Bolton X, David Smith, 1962; Fonte: https://www.moma.org/ ;	78
Figura 4.11: Confluenze, Pino Pascali, 1967; Fonte: https://www.artsy.net/ ;	79
Figura 4.12: Sculture con i rifiuti, im Noble e Sue Webster; Fonte: https://www.art-vibes.com/ ;	79

Capitolo 5

Figura 5.1: Approccio al Life Cycle Thinking; Fonte: https://www.ecoinvent.org/ ;	81
Figura 5.2: Il Life Cycle Sustainable Assessment; Fonte: https://www.researchgate.net/ ;	86

Capitolo 6

Figura 6.1: Carbon footprint; Fonte: https://www.carbonfootprint.com/ ;	87
Figura 6.2: Water footprint network; Fonte: https://www.waterfootprint.org/ ;	88
Figura 6.3: Marchio Ecolabel; Fonte: Ispra;	89
Figura 6.4: Marchio Blaue Engel; Fonte: https://www.blauengel.de/ ;	89
Figura 6.5: Marchio EPD; Fonte: Ispra;	90
Figura 6.6: Certificazione Cradle to Cradle; Fonte: Ispra;	90
Figura 6.7: Certificazione Bream; Fonte: https://www.breeam.com/ ;	91
Figura 6.8: Marchio Protocollo Itaca; Fonte: https://www.itaca.org/ ;	93
Figura 6.9: Marchio Leed Italia; Fonte: https://www.gbciitalia.org/ ;	93

PARTE II

Capitolo 10

Figura 10.1: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	106
Figura 10.2: Particolare della facciata con lamelle in legno con contenuto di riciclato; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	106
Figura 10.3: Vista dello spazio interno. I soffitti sono realizzati in elementi curvilinei prefabbricati in calcestruzzo; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	107
Figura 10.4: Le lamelle sono regolate automaticamente utilizzando l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	107

Figura 10.5: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	107
Figura 10.6: Prospetto frontale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	107
Figura 10.7: Prospetto laterale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	107
Figura 10.8: Un'abitazione di 40 mq realizzata con mattoni di plastica riciclata; Fonte: https://design.fanpage.it/ ;	108
Figura 10.9: La realizzazione di un edificio. I mattoni vengono incastrati tra di loro e ancorati a degli elementi verticali e orizzontali di giunzione in plastica riciclata; Fonte: https://www.archdaily.com.br/ ;	108
Figura 10.10: Il sistema costruttivo in mattoni di plastica riciclata; Fonte: http://observers.france24.com/ ;	108
Figura 10.11: Planimetria di un'abitazione di 40 mq; Fonte: http://observers.france24.com/ ;	108
Figura 10.12: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: http://archdaily.com/ ;	109
Figura 10.13: I blocchi di calcestruzzo con contenuto di riciclato; Fonte: http://archdaily.com/ ;	109
Figura 10.14: Pianta piano terra; Fonte: http://archdaily.com/ ;	109
Figura 10.15: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.arketipomagazine.it/ ;	110
Figura 10.16: L'83% dei pannelli di tamponamento in legno-cemento sono ottenuti da scarti di segherie; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	110
Figura 10.17: Le scaglie ottenute dalle bottiglie di plastica derivanti dalla raccolta differenziata; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	111
Figura 10.18: La fibra in polistirene ottenuta dopo il processo di riciclo delle bottiglie di plastica; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	111
Figura 10.19: I pannelli isolanti finali in polistirene con contenuto di riciclato utilizzati per l'isolamento delle pareti esterne; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	111
Figura 10.20: L'isolamento dei pavimenti è realizzato con sughero riciclato; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	111
Figura 10.21: Pianta piano terra; Fonte: http://www.savnoservizi.it/ ;	111
Figura 10.22: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	112
Figura 10.23: Le mattonelle sono ancorate a una struttura metallica permettendo quindi la possibilità di demolire in modo selettivo il rivestimento del padiglione; Fonte: http://www.aboutdesignworld.com/ ;	112
Figura 10.24: Dettaglio delle mattonelle in plastica riciclata; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	112
Figura 10.25: Esploso assonometrico con riferimento ai materiali con contenuto di riciclato; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	113
Figura 10.26: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	114
Figura 10.27: Strato di isolante riciclato da bottiglie PET; Fonte: Arketipo, 2013;	114
Figura 10.28: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	115
Figura 10.29: Dettaglio costruttivo nodo parete-copertura; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	115
Figura 10.30: Esploso assonometrico; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	115
Figura 10.31: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	116
Figura 10.32: Vista dell'interno con gli elementi in calcestruzzo e acciaio provenienti dallo smantellamento dell'autostrada Big Dig; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	116
Figura 10.33: Assemblamento in cantiere degli elementi recuperati; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	116
Figura 10.34: La struttura recuperata per la realizzazione del nuovo edificio è stata mantenuta volontariamente all'esterno per renderla visibile; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	117
Figura 10.35: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	117

Figura 10.36: Sezione trasversale con identificazione degli elementi recuperati; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	117
Figura 10.37: Fasi costruttive della Big Dig House; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	117
Figura 10.38: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	118
Figura 10.39: Le vaschette di recupero sono imbullonate a una struttura metallica garantendo la possibilità di rimuoverle selettivamente; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	118
Figura 10.40: Vista dell'interno: le vaschette permettono il passaggio della luce naturale creando un'illuminazione confortevole; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	118
Figura 10.41: Pianta piano primo; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	119
Figura 10.42: Sezione trasversale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	119
Figura 10.43: Sezione tecnologica; Fonte: https://www.baunetzwissen.de/ ;	119
Figura 10.44: Il rivestimento in legno delle facciate esterne proviene dai bateas; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	118
Figura 10.45: Il rivestimento in legno del soffitto è ricavato dal taglio interno degli assi in legno dei bateas; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	118
Figura 10.46: Prospetto frontale con rivestimento in legno recuperato; Fonte: https://www10.aeccafe.com/ ;	118
Figura 10.47: Vista dell'edificio; Fonte: http://www.koebberlingkaltwasser.de/ ;	119
Figura 10.48: Vista dell'interno in cui si notano gli elementi di recupero; Fonte: http://www.koebberlingkaltwasser.de/ ;	119
Figura 10.49: Sezione longitudinale; Fonte: http://www.koebberlingkaltwasser.de/ ;	119
Figura 10.50: Vista del padiglione; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	122
Figura 10.51: Vista dell'ingresso; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	122
Figura 10.52: Studio di applicazione delle molle; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	122
Figura 10.53: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.plataformaarquitectura.cl/ ;	123
Figura 10.54: Realizzazione della struttura portante con pneumatici e realizzazione delle colonne in lattine di alluminio rivestite; Fonte: https://www.plataformaarquitectura.cl/ ;	123
Figura 10.55: Pianta piano terra; Fonte: https://www.plataformaarquitectura.cl/ ;	123
Figura 10.56: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.insitearch.com/ ;	124
Figura 10.57: Prospetto principale con individuazione degli elementi di recupero; Fonte: https://www.insitearch.com/ ;	124
Figura 10.58: Processo di selezione e lavorazione del materiale recuperato; Fonte: https://www.insitearch.com/ ;	125
Figura 10.59: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	126
Figura 10.60: Vista dell'edificio rivestito con mattonelle e tegole di recupero; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	126
Figura 10.61: Prospetto frontale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	126
Figura 10.62: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	127
Figura 10.63: Il rivestimento del prospetto nord è realizzato recuperando il parquet di un'abitazione degli anni '70; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	127
Figura 10.64: Prospetto sud; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	127
Figura 10.65: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	128
Figura 10.66: Dettaglio della facciata realizzata con infissi recuperati da edificio demoliti; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	128
Figura 10.67: Vista dell'interno con arredi realizzati con elementi di recupero; Fonte: https://architizer.com/ ;	128

Figura 10.68: Mappatura di tutti gli elementi riutilizzati; Fonte: https://architizer.com/ ;	129
Figura 10.69: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	130
Figura 10.70: Vista complessiva dell'edificio sulla facciata nord rivestita con tegole di ardesia recuperate; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	130
Figura 10.71: Dettaglio della facciata con le tegole di ardesia utilizzate anche per la copertura; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	130
Figura 10.72: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	131
Figura 10.73: Prospetto nord; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	131
Figura 10.74: Esploso assonometrico; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	131
Figura 10.75: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	132
Figura 10.76: Rivestimento esterno in alluminio con contenuto di riciclato, pannelli OSB interni provenienti da scarti industriali; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	132
Figura 10.77: La parete in mattoni è realizzata con elementi di recupero così come gli infissi sono di riuso; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	132
Figura 10.78: La struttura portante è realizzata con due container navali dismessi; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	133
Figura 10.79: Alcune pareti interne sono realizzate con una struttura intelaiata in legno integrata a tuniche di plastica; Fonte: http://www.rinnovabili.it/ ;	133
Figura 10.80: Esploso assonometrico con individuazione degli elementi riciclati o riutilizzati; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	133
Figura 10.81: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: http://www.archilovers.com/ ;	134
Figura 10.82: La struttura portante, ad eccezione delle fondazioni, è stata completamente realizzata con elementi di recupero; Fonte: http://www.devoti.it/ ;	134
Figura 10.83: Dettaglio tecnologico con individuazione degli elementi recuperati; Fonte: http://www.devoti.it/ ;	135
Figura 10.84: Individuazione e localizzazione degli elementi di recupero utilizzati nel progetto; Fonte: https://www.gooood.cn/ ;	135
Figura 10.85: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	136
Figura 10.86: Vista del cortile interno con gli elementi di riuso utilizzati per rivestire le pareti: scarti di metallo e avanzi di tubi metallici; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	136
Figura 10.87: Vista dell'interno; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	136
Figura 10.88: Alcune finestre recuperate da edifici demoliti e riutilizzate per comporre la facciata principale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	137
Figura 10.89: Le colonne antiche in legno recuperate da un edificio demolito rivestono i pilastri del padiglione posto sulla copertura; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	137
Figura 10.90: Prospetto e sezione tecnologica della facciata realizzata con infissi recuperati; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	137
Figura 10.91: Esploso assonometrico con identificazione degli elementi di riuso; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	137
Figura 10.92: Vista dell'edificio; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	138
Figura 10.93: Il rivestimento realizzato con tappetini provenienti da un vecchio ufficio; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	138
Figura 10.94: Vista durante la costruzione dell'edificio con materiali di recupero; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	138
Figura 10.95: Alcune vecchie video cassette integrate nelle pareti perimetrali; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	138
Figura 10.96: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	139
Figura 10.97: I mattoni sono stati recuperati dall'edificio demolito che occupava precedentemente il sito e riutilizzati nella nuova costruzione;	

Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	139
Figura 10.98: Vista interna dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	139
Figura 10.99: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	139
Figura 10.100: Vista complessiva dell'edificio e del giardino esterno; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	140
Figura 10.101: Gli elementi della struttura portante in acciaio sono realizzati con contenuto di riciclato; Fonte: http://www.notcot.com/ ;	140
Figura 10.102: L'isolante è realizzato con riciclo di scarti industriali pre-consumo di blue jeans; Fonte: https://www.apartmenttherapy.com/ ;	141
Figura 10.103: Viste dello spazio interno; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	141
Figura 10.104: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	141
Figura 10.105: Sezione longitudinale; particolare attenzione è stata posta alla progettazione bioclimatica; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	141
Figura 10.106: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	142
Figura 10.107: Dettaglio delle tegole riutilizzate provenienti dall'edificio demolito; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	142
Figura 10.108: Dettaglio della facciata principale caratterizzata dalle tegole frangisole di recupero; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	142
Figura 10.109: Le tegole sono ancorate a una struttura metallica che ne permette la rotazione. La struttura può essere smontata a fine vita; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	143
Figura 10.110: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	143
Figura 10.111: Riuso delle tegole recuperate dall'edificio demolito; Fonte: Design and Architecture, 2016;	143
Figura 10.112: Prospetto principale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	142
Figura 10.113: I detriti riciclati dall'edificio demolito sono stati utilizzati come aggregati per la copertura, mentre le facciate sud, est e ovest sono realizzate con mattoni recuperati da altri edifici demoliti nella zona; Fonte: https://divisare.com/ ;	146
Figura 10.114: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://divisare.com/ ;	146
Figura 10.115: Il prospetto sud, est e ovest sono realizzati con mattoni recuperati da altri edifici demoliti; Fonte: https://divisare.com/ ;	146
Figura 10.116: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	145
Figura 10.117: I mattoni e il pavimento sono stati recuperati dall'edificio demolito e riutilizzati con la stessa funzione; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	145
Figura 10.118: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	146
Figura 10.119: Particolare del rivestimento in mattoni di recupero; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	146
Figura 10.120: Pianta piano tipo; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	147
Figura 10.121: Prospetto principale; Fonte: https://www.bnim.com/ ;	147
Figura 10.122: Vista frontale dell'edificio; Fonte: http://www.ehdd.com/ ;	148
Figura 10.123: Studio di diversi tagli dei profili di rivestimento di recupero: l'ultima soluzione permette di mantenere interamente il materiale; Fonte: http://www.tboake.com/ ;	149
Figura 10.124: Il rivestimento esterno (sopra) e interno (sotto) sono stati studiati con un sistema di fissaggio che non danneggia le tavole di legno di recupero permettendo un totale disassemblaggio e riuso; Fonte: http://www.tboake.com/ ;	149
Figura 10.125: Dettaglio dei serramenti: il sistema studiato permette la rimozione completa del serramento senza danneggiare le finiture interne o esterne; Fonte: http://www.tboake.com/ ;	149

Figura 10.126: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://fcbstudios.com/ ;	150
Figura 10.127: Vista dello spazio interno con le scale e ballatoi disassemblabili e i mattoni di riuso; Fonte: http://projects.bre.co.uk/ ;	150
Figura 10.128: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: http://www.archidiap.com/ ;	151
Figura 10.129: Vista dell'interno dell'ex fabbrica convertita in auditorium; Fonte: http://www.archidiap.com/ ;	151
Figura 10.130: Sezione longitudinale; Fonte: http://www.archidiap.com/ ;	151
Figura 10.131: Vista dell'edificio; Fonte: https://www.arketipomagazine.it/ ;	152
Figura 10.132: Vista dello spazio interno prima dell'intervento; Fonte: Arketipo, 2016;	152
Figura 10.133: Vista dello spazio interno dopo l'intervento; Fonte: Arketipo, 2016;	152
Figura 10.134: Planimetria di un ufficio con presenza di partizioni interne rimovibili. Lo spazio totale, in questa configurazione, può essere suddiviso in quattro spazi di dimensioni minori; Fonte: https://www.vulcanicaarchitettura.com/ ;	153
Figura 10.135: Prospetto, pianta e sezione tecnologica e dettagli costruttivi; Fonte: https://www.vulcanicaarchitettura.com/ ;	153
Figura 10.136: Vista dell'ex stazione ferroviaria recuperata; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	154
Figura 10.137: Vista di un padiglione; Fonte: http://www.manuelocana.com/ ;	154
Figura 10.138: Sezione trasversale; Fonte: http://www.manuelocana.com/ ;	154
Figura 10.139: Prima e dopo l'intervento; Fonte: https://www.mvrdv.nl/ ;	155
Figura 10.140: Vista dell'interno del silo dopo l'intervento; Fonte: https://www.mvrdv.nl/ ;	155
Figura 10.141: Sezione longitudinale; Fonte: https://www.architetturaecosostenibile.it/ ;	155
Figura 10.142: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	156
Figura 10.143: Il complesso abbandonato prima dell'intervento; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	156
Figura 10.144: Il complesso rinnovato dopo l'intervento; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	156
Figura 10.145: L'edificio esistente sottoposto a recupero con sopraelevazione di un nuovo piano; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	157
Figura 10.146: La realizzazione del nuovo piano interrato realizzato sull'edificio esistente; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	157
Figura 10.147: Pianta piano terra; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	157
Figura 10.148: Assonometria del progetto; Fonte: http://www.nanowoarchitekci.pl/ ;	157
Figura 10.149: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	158
Figura 10.150: Prima e dopo l'intervento; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	158
Figura 10.151: L'assemblaggio in sito degli elementi prefabbricati; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	158
Figura 10.152: Il progetto ha previsto l'aggiunta di un nuovo piano sull'edificio esistente; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	159
Figura 10.153: Tutti gli interni sono stati mantenuti con la struttura esistente in calcestruzzo a vista; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	159
Figura 10.154: Dettagli tecnologici; Fonte: https://www.architectural-review.com/ ;	159
Figura 10.155: Vista complessiva dell'ex stazione ferroviaria e del nuovo ampliamento; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	160
Figura 10.156: Dettaglio del rivestimento esterno realizzato con il recupero delle traversine dei binari dismessi; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	160
Figura 10.157: Particolare del nuovo ampliamento in stile contemporaneo; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	160
Figura 10.158: Pianta piano terra; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	161
Figura 10.159: Prospetto principale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	161

Figura 10.160: Sezione longitudinale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	161
Figura 10.161: Sezione tecnologica; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	161
Figura 10.162: Vista del nuovo ingresso realizzato con cassette in plastica di recupero; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	162
Figura 10.163: Prospetto frontale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	162
Figura 10.164: Esploso assonometrico; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	162
Figura 10.165: il rivestimento e i frangisole in legno sono stati recuperati da botti di vino; Fonte: https://kierantimberlake.com/ ;	163
Figura 10.166: I davanzali delle finestre sono in legno di recupero; Fonte: https://kierantimberlake.com/ ;	163
Figura 10.167: Vista del nuovo ampliamento; Fonte: https://www.phooey.com.au/ ;	164
Figura 10.168: Le inferriate metalliche recuperate dalla parte di edificio demolita sono state riusate come schermature solari; Fonte: https://www.phooey.com.au/ ;	164
Figura 10.169: Rappresentazioni delle demolizioni e riassetto secondo il metodo della "cubomania"; Fonte: https://www.phooey.com.au/ ;	165
Figura 10.170: Prospetto sud; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	165
Figura 10.171: Sezione longitudinale che evidenzia l'edificio esistente mantenuto e il nuovo ampliamento aggiunto; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	165
Figura 10.172: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	166
Figura 10.173: Il complesso di edifici esistenti prima dell'intervento di rinnovo e di ampliamento; Fonte: https://www.fokkema-partners.nl/ ;	166
Figura 10.174: Dettaglio del rivestimento esterno in legno di recupero; Fonte: https://opalis.be/ ;	167
Figura 10.175: La nuova "pelle" è stata aggiunta all'edificio esistente; Fonte: https://www.gispem.com/ ;	167
Figura 10.176: Porzione di prospetto con pianta e sezione tecnologica; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	167
Figura 10.177: Villa Zebra a Rotterdam; Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	168
Figura 10.178: Villa Notenkraker a Hoogvliet; Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	168
Figura 10.179: Villa Camera a Hilversum; Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	168
Figura 10.180: Pianta piano terra e prospetto (Villa Notenkraker); Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	169
Figura 10.181: Pianta piano terra (Villa Camera); Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	169
Figura 10.182: Prospetto (Villa Camera); Fonte: http://xxarchitekten.nl/ ;	169
Figura 10.183: Vista del padiglione realizzato a EXPO 2015; Fonte: Francesco Mion, 2015;	170
Figura 10.184: Vista dell'edificio con le vele che caratterizzano l'ingresso realizzato a EXPO 2015; Fonte: http://www.expo2015.org/ ;	170
Figura 10.185: I materiali e gli elementi del padiglione trasportati a Bergamo per la ricostruzione; Fonte: https://www.ecodibergamo.it/ ;	170
Figura 10.186: La ricostruzione del padiglione a Bergamo (agosto 2018). Il completamento dei lavori è previsto intorno alla fine del 2018; Fonte: http://www.lavocedellevalli.it/ ;	170
Figura 10.187: Vista dell'edificio realizzato a EXPO 2015; Fonte: https://www.studioambiente.it/ ;	171
Figura 10.188: La costruzione del padiglione: i solai sono realizzati a secco in acciaio e XLAM per permettere la decostruzione totale; Fonte: https://www.ingegneri.cc/ ;	171
Figura 10.189: Il padiglione durante la ricostruzione e l'inaugurazione come ristorante a Origgio; Fonte: https://www.varesenews.it/ ;	171
Figura 10.190: Vista complessiva dell'edificio (NY); Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	172

Figura 10.191: Vista dello spazio interno con le colonne e le capriate realizzate in carta con contenuto di riciclato (NY); Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	172
Figura 10.192: Vista durante l'assemblaggio della copertura (NY); Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	173
Figura 10.193: Il Nomadic Museum di Città del Messico è stato realizzato con una struttura in bambù al posto dei containers; Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	173
Figura 10.194: Sezione, museo di New York; Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	173
Figura 10.195: Pianta piano terra, museo di Santa Monica; Fonte: https://www.lib.ncsu.edu/ ;	173
Figura 10.196: Vista frontale dell'edificio; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	174
Figura 10.197: Vista dell'interno con sedie e lampade di recupero; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	174
Figura 10.198: Le porte recuperate sono state riusate per il rivestimento; Fonte: http://www.archilovers.com/ ;	174
Figura 10.199: Pianta piano terra; Fonte: http://www.archdaily.com/ ;	175
Figura 10.200: Prospetto frontale; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	175
Figura 10.201: Modelli tridimensionali che mostrano il telaio in legno, l'isolante in lana di roccia e il rivestimento con porte; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	175
Figura 10.202: Disegno in cui vengono mostrati gli elementi di recupero; Fonte: http://www.platform-ad.com/ ;	175

Capitolo 11

Figura 11.1: Rappresentazione grafica delle associazioni edificio-materiale dei casi studio. L'intensità di spessore delle linee è rappresentativo dei casi analizzati; Fonte: elaborazione personale;	177
Figura 11.2: Suddivisione in percentuale di casi studio per continente; Fonte: elaborazione personale;	178

PARTE III

Capitolo 12

Figura 12.1: Serramenti di recupero della Kamikatz Public House, Giappone, 2015; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	195
Figura 12.2: Serramenti di recupero della Recycled Cottage Materials, Cile, 2008; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	195
Figura 12.3: Elementi in calcestruzzo e acciaio provenienti dallo smantellamento dell'autostrada Big Dig, Big Dig House, US, 2008; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	196
Figura 12.4: Portale online Oogstkaat; Fonte: https://www.oogstkaat.nl/ ;	201
Figura 12.5: Portale online Oogstkaat; Fonte: https://www.oogstkaat.nl/ ;	201

Capitolo 13

Figura 13.1: Villa Welpeloo; Fonte: https://www.archilovers.com/ ;	204
Figura 13.2: Ty Pren; Fonte: https://www.dezeen.com/ ;	209
Figura 13.3: The Silo; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	215

Figura 13.4: Pianta piano tipo con indicazione della campata strutturale analizzata; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	215
Figura 13.5: Nodo solaio-setti. (1) Setti portanti in cemento armato 23x385, (2) Solaio in cemento armato 30 cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.6: Pianta della campata; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.7: Assonometria della campata; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.8: Nodo solaio-pilastro. (1) Pilastro in ca 30x30, (2) Trave in ca 40x30, (3) pignatta 16cm, (4) Traliccio Φ 8mm, (5) rete elettrosaldada Φ 5mm, (6) Riempimento in cls 4cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.9: Pianta della campata strutturale; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.10: Assonometria della campata ricostruita in travi e pilastri in cemento armato e solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;	215
Figura 13.11: Padiglione Uruguay; Fonte: https://www.elprimero.it/ ;	219
Figura 13.12: Schema strutturale; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.13: Schema strutturale; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.14: Vista assonometrica del solaio in acciaio e legno; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.15: Stratigrafia caso studio. (1) Trave principale IPE 360, (2) trave secondaria IPE 160, (3) Solaio X-LAM altezza 14 cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.16: Vista assonometrica del solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.17: Stratigrafia solaio laterocemento. (1) Trave 25x50, (2) pignatta 20cm, (3) Traliccio Φ 8mm, (4) Riempimento in cls 5cm, (5) rete elettrosaldada Φ 5mm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;	219
Figura 13.18: Brin 69; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	224
Figura 13.19: Stratigrafia parete caso studio. (1) cartongesso 1,25 cm, (2) isolante in sughero 5 cm, (3) profili in alluminio, (4) cartongesso 1,25 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;	224
Figura 13.20: Stratigrafia parete tradizionale; (1) intonaco 1,5 cm, (2) mattoni forati 8 cm, (3) isolante in sughero 5 cm, (4) mattoni forati 8 cm, (5) intonaco 1,5 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;	224
Figura 13.21: Stratigrafia parete caso studio. (1) pannello MDF 1,2 cm, (2) isolante in sughero 5 cm, (3) montanti in legno 5x5 cm, (4) pannello MDF 1,2 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;	224
Figura 13.22: Ty Pren; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	229
Figura 13.23: Stratigrafia parete caso studio; Fonte: elaborazione personale;	229
Figura 13.24: Stratigrafia parete tradizionale; Fonte: elaborazione personale;	229
Figura 13.25: Tvzeb; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	237
Figura 13.26: Stratigrafia parete caso studio; Fonte: elaborazione personale;	237
Figura 13.27: Dichiarazione EPD pannelli OSB; Fonte: http://www.environdec.com/ ;	238
Figura 13.28: Aizkibel Library Extension; Fonte: https://www.archdaily.com/ ;	238

Indice delle tabelle

PARTE I

Capitolo 1

Tabella 1.1: Gradi di disassemblabilità; Fonte: Giordano R.,2010;.....	52
--	----

Capitolo 2

Tabella 2.1: Produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nei Paesi Membri e relative percentuali di riciclaggio e conferimento in discarica; Fonte: Eurostat 2021/2013;.....	57
Tabella 2.2: Produzione nazionale di rifiuti speciali, anni 2011-2013; Fonte: ISPRA;.....	59
Tabella 2.3: Classificazione delle aree in abbandono; Fonte: WWF, 2013;.....	60

Capitolo 5

Tabella 5.1: I confini del sistema; Fonte: https://www.etoologlobal.com/ ;.....	84
---	----

PARTE II

Capitolo 9

Tabella 9.1: Scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;.....	103
Tabella 9.2: Scenari alla scala del materiale; Fonte: elaborazione personale;.....	103
Tabella 9.3: Principi progettuali; Fonte: elaborazione personale;.....	104

Capitolo 10

Tabella 10.1: Tabella di sintesi dei casi studio analizzati; Fonte: elaborazione personale;.....	176
--	-----

Capitolo 11

Tabella 11.1: Suddivisione dei casi studio per continente secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;.....	178
Tabella 11.2: Suddivisione dei casi studio per anno di costruzione secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;....	178
Tabella 11.3: Suddivisione dei casi studio per funzione secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;.....	178
Tabella 11.4: Suddivisione dei casi studio per principi progettuali e certificazione di sostenibilità ambientale secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;.....	179
Tabella 11.5: Individuazione dei materiali di riuso e con contenuto di riciclato dei casi studio; Fonte: elaborazione personale;.....	180
Tabella 11.6: Individuazione dei prodotti e delle parti d'opera di riuso e con contenuto di riciclato dei casi studio; Fonte: elaborazione personale;	182
Tabella 11.7: Analisi dei casi studio in base ai sistemi costruttivi a secco o a umido; Fonte: elaborazione personale;.....	184

Capitolo 12

Tabella 12.1: Comparazione tra risorse, energia incorporata e rifiuti prodotti dalla demolizione selettiva e dalla demolizione tradizionale collettiva; Fonte: http://www.regione.emilia-romagna.it/vamp ;	191
Tabella 12.2: Fonti di emissioni COV; Fonte: INAIL, 2018;	197

Capitolo 13

Tabella 13.1: Individuazione del confine di sistema analizzato nelle valutazioni LCA (Cradle to Gate); Fonte: Norma UNI 15084;	203
Tabella 13.2: Classificazione del sistema tecnologico adottato nelle valutazioni LCA; Fonte: Norma UNI 8290/1;	203
Tabella 13.3: Individuazione degli elementi di riuso e riciclo nel caso studio e rispettive quantità; Fonte: elaborazione personale;	204
Tabella 13.4: Calcolo dell'energia incorporata del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;	205
Tabella 13.5: Calcolo delle emissioni di CO ₂ del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EC del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;	205
Tabella 13.6: Individuazione degli elementi di riuso e riciclo nel caso studio e rispettive quantità; Fonte: elaborazione personale;	209
Tabella 13.7: Calcolo dell'energia incorporata del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;	210
Tabella 13.8: Calcolo delle emissioni di CO ₂ del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;	210
Tabella 13.9: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della struttura della campata del caso studio; Fonte: elaborazione personale;	216
Tabella 13.10: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della struttura della campata dell'ipotesi di ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;	216
Tabella 13.11: Calcolo embodied energy ed embodied carbon del solaio del caso studio in acciaio e legno; Fonte: elaborazione personale;	220
Tabella 13.12: Calcolo embodied energy ed embodied carbon del solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;	220
Tabella 13.13: Calcolo embodied energy ed embodied carbon ipotesi con materiale con contenuto di riciclato; Fonte: elaborazione personale;	222
Tabella 13.14: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete in cartongesso del caso studio; Fonte: elaborazione personale;	225
Tabella 13.15: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete in legno; Fonte: elaborazione personale;	225
Tabella 13.16: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete realizzata in mattoni forati; Fonte: elaborazione personale;	225
Tabella 13.17: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete divisoria del caso studio con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;	227

Tabella 13.18: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete del caso studio; Fonte: elaborazione personale;.....	230
Tabella 13.19: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete realizzata con sistemi tradizionali; Fonte: elaborazione personale;	230
Tabella 13.20: Calcolo embodied energy ed embodied carbon degli interventi di riparazione; Fonte: elaborazione personale;.....	231
Tabella 13.21: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete del caso studio; Fonte: elaborazione personale;.....	237
Tabella 13.22: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete con materiali riciclati; Fonte: elaborazione personale;.....	238
Tabella 13.23: PEI e GWP dei trasporti su camion; Fonte: Banca dati Ecoinvent v1.3;.....	239
Tabella 13.24: Calcolo embodied energy del materiale e dei consumi dei trasporti; Fonte: elaborazione personale;.....	239
Tabella 13.25: Calcolo embodied energy e PEI totali; Fonte: elaborazione personale;.....	239
Tabella 13.26: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;.....	240
Tabella 13.27: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;.....	240
Tabella 13.28: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;.....	241
Tabella 13.29: Cicli di vita dell'edificio; Fonte: Norma UNI 15084;.....	243

Indice dei grafici

PARTE I

Capitolo 1

Grafico 1.1: Spostamento del percorso dello sviluppo verso lo sviluppo sostenibile; Fonte: Walter R. Stahel, 1976;..... 44

Capitolo 2

Grafico 2.1: Produzione di rifiuti delle attività economiche e domestiche, UE-28, 2014 (%); Fonte: Eurostat;..... 54

Grafico 2.2: Produzione di rifiuti, 2014 (kg per abitante); Fonte: Eurostat;..... 55

Grafico 2.3: La città di San Francisco, ad oggi, permette una percentuale di raccolta differenziata pari all'80%, molto più elevata rispetto a quella di altre città; Fonte: <https://www.ecodallecitta.it/>;..... 57

Grafico 2.4: Ripartizione delle cave per gruppi di materiali estratti; Fonte: Legambiente, Rapporto Cave; 2011;..... 61

Capitolo 3

Grafico 3.1: Budget programma Horizon 2020; Fonte: <https://www.horizon2020.it/>;..... 65

PARTE III

Capitolo 13

Grafico 13.1: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al volume; Fonte: elaborazione personale;..... 204

Grafico 13.2: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al peso; Fonte: elaborazione personale;..... 204

Grafico 13.3: Confronto tra energia incorporata del caso studio ed edificio nuovo; Fonte: elaborazione personale;..... 206

Grafico 13.4: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per classi di unità tecnologiche; Fonte: elaborazione personale;..... 206

Grafico 13.5: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;..... 206

Grafico 13.6: Confronto tra emissioni di CO₂ del caso studio ed edificio nuovo; Fonte: elaborazione personale;..... 207

Grafico 13.7: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per classi di unità tecnologiche; Fonte: elaborazione personale;..... 207

Grafico 13.8: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;..... 207

Grafico 13.9: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al volume; Fonte: elaborazione personale;..... 209

Grafico 13.10: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al peso; Fonte: elaborazione personale;..... 209

Grafico 13.11: Confronto tra energia incorporata del caso studio ed edificio nuovo; Fonte: elaborazione personale;..... 211

Grafico 13.12: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per classi di unità tecnologiche; Fonte: elaborazione personale;..... 211

Grafico 13.13: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;..... 211

Grafico 13.14: Confronto tra emissioni di CO₂ del caso studio ed edificio nuovo; Fonte: elaborazione personale;..... 212

Grafico 13.15: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per classi di unità tecnologiche; Fonte: elaborazione personale;..... 212

Grafico 13.16: Individuazione delle emissioni di CO ₂ evitate divise per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;.....	212
Grafico 13.17: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;.....	217
Grafico 13.18: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;.....	217
Grafico 13.19: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	221
Grafico 13.20: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	221
Grafico 13.21: Comparazione embodied energy caso studio, stratigrafia tradizionale e caso studio con materiali di riciclo; Fonte: elaborazione personale;.....	223
Grafico 13.22: Comparazione embodied carbon caso studio, stratigrafia tradizionale e caso studio con materiali di riciclo; Fonte: elaborazione personale;.....	223
Grafico 13.23: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	226
Grafico 13.24: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	226
Grafico 13.25: Comparazione embodied energy tra caso studio, stratigrafia tradizionale, caso studio con materiali di riciclo e stratigrafia in legno; Fonte: elaborazione personale;.....	227
Grafico 13.26: Comparazione embodied carbon tra caso studio, stratigrafia tradizionale, caso studio con materiali di riciclo e stratigrafia in legno; Fonte: elaborazione personale;.....	227
Grafico 13.27: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	232
Grafico 13.28: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;.....	232
Grafico 13.29: Comparazione dell'energia incorporata della fase di costruzione di un edificio realizzato in legno, acciaio e calcestruzzo calcolando gli impatti dovuti al trasporto di operai, al trasporto di materiali ed attrezzature, e all'utilizzo di attrezzature in cantiere; Fonte: Cole, 1999;.....	233
Grafico 13.30: Comparazione dell'energia incorporata della fase di produzione di un edificio prefabbricato in acciaio, calcestruzzo e legno. La valutazione LCA è stata svolta su un edificio residenziale; Fonte: Aye et al., 2012;.....	233
Grafico 13.31: Comparazione embodied energy tra caso studio con materiale nuovo e con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;.....	238
Grafico 13.32: Comparazione embodied carbon tra caso studio con materiale nuovo e con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;.....	238
Grafico 13.33: Comparazione tra embodied energy di materiale nuovo, riciclato e di riuso e PEI dei trasporti; Fonte: elaborazione personale;.....	239

Grafico 13.34: Comparazione tra materiale riciclato prodotto a 5 km e materiale di riuso reperito a 90 km; Fonte: elaborazione personale;	240
Grafico 13.35: Comparazione tra materiale nuovo prodotto a 5 km e materiale di riuso reperito a 850 km; Fonte: elaborazione personale;	240
Grafico 13.36: Comparazione tra materiale nuovo prodotto a 5 km e materiale di riciclo prodotto a 780 km; Fonte: elaborazione personale;.....	241
Grafico 13.37: Comparazione trasporto su camion e su rotaia; Fonte: elaborazione personale;.....	241

Abstract

Il lavoro di tesi si propone di analizzare e mettere in luce una tematica molto attuale, quella dell'economia circolare applicata al settore edilizio. L'intero percorso è stato mosso dall'obiettivo di individuare quali sono le strategie di applicazione più ricorrenti dell'economia circolare in edilizia sia alla scala dell'edificio che alla scala del materiale e del componente edilizio, per così comprendere quali sono le problematiche che ostacolano l'evolversi dell'economia circolare in edilizia e allo stesso tempo mettere in luce i vantaggi derivanti dall'applicazione di una visione circolare nella progettazione piuttosto che della tradizionale visione lineare. Per una comprensione completa della tematica, la prima parte dell'elaborato di tesi si occupa di restituire un quadro generale sull'evoluzione dell'economia circolare, partendo dalle origini fino ad arrivare alle recenti normative europee ed italiane volte alla promozione del "pensare circolare" anche nel settore edilizio. La seconda parte dell'elaborato comprende un'ampia serie di casi studio, il più possibile differenti tra loro, che rappresentano la base su cui sono state poste le riflessioni conclusive presenti all'interno dell'ultima parte della tesi: quest'ultima parte, rappresenta il fulcro del lavoro svolto, in quanto, grazie all'applicazione di analisi LCA puntuali sui

casi studio individuati, è stato possibile definire in modo oggettivo i reali benefici derivanti dall'applicazione di strategie circolari alla scala dell'edificio e delle sue componenti, confrontando le strategie individuate nei casi studio con soluzioni costruttive di tipo tradizionale. Infine si sono volute restituire delle linee guida semplificate che facilitino un approccio circolare nei confronti degli edifici sia per la figura del progettista che per quella del committente, in quanto lo sviluppo di un approccio circolare al settore edilizio deve poter essere compreso da tutti i soggetti coinvolti in esso.

Introduzione

Per troppo tempo, l'intera società ha completamente trascurato il problema del consumo delle risorse naturali della Terra e la conseguente eccessiva produzione di rifiuti che oggi il nostro Pianeta si trova a dover affrontare. Soprattutto nel settore edilizio, questa tematica risulta essere oggi una questione di particolare importanza, in quanto questo settore è ritenuto responsabile del 65% del totale dei rifiuti prodotti a scala europea (Schor, 2011) e il 10-15% dei consumi energetici totali del settore deriva dalla fase di estrazione delle materie prime (Rapporto UNEP, 2002). Di conseguenza risulta di fondamentale importanza il tema dell'efficienza nell'uso delle risorse. Negli ultimi anni l'Europa, al fine di risolvere il problema dei rifiuti, in particolare, ha emanato la Direttiva Europea 98/2008/CE, la quale punta a fissare obiettivi chiari e condivisi tra i diversi Stati Membri dell'UE sui temi della gestione dei rifiuti, riciclo e riutilizzo di materia. Affinché tali indicazioni normative possano essere messe in pratica anche nel settore edilizio è necessario passare da una visione lineare del processo di ideazione e gestione dell'edificio ad una visione circolare, progettando edifici a "zero rifiuti", ovvero capaci di riadattarsi a nuovi utilizzi (Design for Adaptability), progettati per il disassemblaggio e la decostruzione (Design for

Disassembling and Decostruction) o realizzati con materiali di recupero o riciclati. Tutto ciò permetterebbe sia di progettare nuovi edifici a ciclo chiuso, ovvero realizzati al fine di recuperare e riutilizzare il più possibile materiale di scarto senza generare ulteriori rifiuti o consumo di materie prime, sia ripensare l'immenso patrimonio edilizio esistente e ad oggi dismesso o in stato di abbandono per evitare nuovi consumi di suolo. Applicare il concetto di economia circolare all'edilizia significa quindi saper riconoscere gli scarti e i rifiuti come possibile nuova risorsa da utilizzare e re immettere nel complesso edilizio. Il lavoro di tesi nasce dunque con l'interesse primario di mettere in luce queste tematiche, ad oggi ancora poco sviluppate e prese in considerazione dal settore dell'edilizia, con l'intento di restituire un quadro il più possibile completo e attuale relativo alle concrete possibilità di applicazione dell'economia circolare nel settore delle costruzioni. Più nel dettaglio, la prima parte dell'elaborato si concentra principalmente sull'individuazione dello stato dell'arte in relazione al tema dell'economia circolare in edilizia, ponendo particolare attenzione al quadro normativo sia europeo che italiano e alle possibili modalità di applicazione della circolarità nell'ambito delle costruzioni. La seconda parte

consiste in un'ampia raccolta di casi studio di edifici realizzati secondo i principi dell'economia circolare e rappresenta la base su cui poi verranno poste una serie di considerazioni, affrontate all'interno dell'ultima parte dell'elaborato, tra cui l'inquadramento della situazione attuale sull'economia circolare in edilizia, la messa in luce dei vantaggi e degli svantaggi delle differenti strategie analizzate e la quantificazione degli impatti ambientali derivanti dalle soluzioni progettuali individuate nei differenti casi studio. La terza e ultima parte infine, ha come principale obiettivo quello di analizzare nel dettaglio alcuni casi studio significativi individuati nella seconda parte della tesi, al fine di:

- individuare nel concreto problematiche e criticità che ostacolano l'applicazione e l'evolversi della tendenza circolare in edilizia;

- quantificare l'effettiva efficienza degli edifici analizzati in termini di impatti evitati sull'ambiente;

- definire una serie di indicazioni e linee guida progettuali riguardo al tema dell'edilizia circolare volte ad incentivarne l'applicazione secondo le più corrette modalità.

Per queste ragioni i motivi principali che hanno condotto allo sviluppo di questa tesi sono così riassumibili:

- l'attualità e l'urgenza della tematica del consumo di risorse e della produzione di rifiuti;

- l'urgenza di limitare gli ingenti impatti ambientali generati dall'estrazione delle materie prime fino al fine vita di un materiale o di un edificio;

- la necessità di connettere il concetto di ciclo chiuso, e più in generale di economia circolare, al settore edilizio;

- mettere in luce la necessità di un approccio "life cycle" come prerogativa verso una progettazione sostenibile e informata in relazione agli impatti ambientali generati in ogni ciclo di vita di un materiale o di un edificio;

- per quanto riguarda la situazione italiana, la volontà di incentivare le pratiche di riciclo e riutilizzo di materiali e componenti nel settore edile e l'opportunità di riqualificare e/o riutilizzare il patrimonio edilizio esistente quale essenziale fonte di risorse.

Glossario

Le definizioni riportate in seguito sono ricavate direttamente dalle normative vigenti nel settore dei rifiuti e nel settore edile, dalla bibliografia e sitografia analizzata riguardo al tema dell'economia circolare in edilizia. In particolare le normative di riferimento sono:

- il Decreto Legislativo 205/2010, il quale aggiorna nel contesto italiano la Direttiva Europea 2008/98 CE relativa ai rifiuti;

- la normativa britannica BS 8887-2:2009 "Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing";

- il Decreto Legislativo 152/06, "Norme in materia ambientale";

- Norma ISO 2444:1988 "Joints in buildings";

- Norma UNI EN ISO 14021:2016 "Etichette e dichiarazioni ambientali";

ASSEMBLAGGIO - Specifica il tipo di collegamento che unisce tra loro due strati contigui, valutandone di conseguenza la reversibilità e l'eventuale produzione di scarto che si genera nell'operazione di disassemblaggio (ISO 2444:1998).

ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE - "Insieme delle operazioni di costruzione, manutenzione, demolizione parziale o totale di organismi edili e di infrastrutture. Tra tali operazioni rientrano le attività di scavo e movimento terra ad esse necessarie" (Altamura, 2015).

CARBON FOOTPRINT (impronta di carbonio) - E' un parametro utilizzato per stimare le emissioni gas serra causate da un prodotto, da un servizio, da un'organizzazione, da un evento o da un individuo, espresse generalmente in tonnellate di CO2 equivalente.

CICLO DI VITA - Il ciclo di vita di un prodotto, processo o attività, indica tutte le fasi che ne contraddistinguono la vita utile, dall'estrazione e lavorazione delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, alla manutenzione, al riutilizzo, fino al riciclo e alla dismissione finale.

COMMAND AND CONTROL - "Rappresenta una strategia regolatoria la cui essenza è collegata all'influenza che si ottiene con l'imposizione di standard associati alla presenza di meccanismi sanzionatori. In forza della legge, è possibile introdurre standard fissi che proibiscono le attività che non si uniformano ad essi" (Treccani).

DECONSTRUZIONE - "Processo di smontaggio di un organismo edilizio, finalizzato a massimizzare

il recupero, ai fini del riuso o del riciclo, dei suoi componenti e materiali, e a minimizzare il quantitativo di scarti prodotti da destinarsi a discarica" (Altamura, 2015).

DEMOLIZIONE - Rappresenta il complesso dei lavori diretti ad abbattere una costruzione e a rimuoverne i materiali, senza che questi vengano separati per frazioni omogenee, impedendone così il solo successivo recupero o riciclo.

DEMOLIZIONE SELETTIVA - "Modalità organizzativa di cantiere che permette di ottenere una valida separazione dei vari componenti e materiali che costituiscono l'edificio, consentendo, in questo modo, un loro riutilizzo nell'edilizia come materie prime secondarie e non solo come riempimenti generici" (Longo, 2007).

DISASSEMBLAGGIO - "Smontaggio dei componenti e materiali costituenti un edificio o parti di esso, ai fini del recupero del maggior numero possibile di elementi nella loro integrità, per garantirne la riusabilità o riciclabilità" (Altamura, 2015).

DISMISSIONE - In termini generali la dismissione definisce la fine dell'utilizzo di un determinato bene non più adeguato o funzionale allo svolgimento delle attività per le quali è stato realizzato. Nel settore delle costruzioni, la dismissione indica la fase finale del ciclo di vita di un edificio: que-

sta include lo smontaggio o la demolizione delle componenti tecnologiche, il trasporto dall'edificio al sito di stoccaggio nonché le eventuali attività per il recupero dei flussi materiali prodotti.

DOWNCYCLING - "Processo di rilavorazione di un prodotto, quasi sempre ad alto consumo energetico, che ne riduce la qualità in termini di prestazioni o/e di valore economico, trasformandolo in un materiale da impiegare in un uso meno rilevante; trattasi di processi di riciclo non basati sulla previsione di nuovo utilizzo del materiale" (Altamura, 2015).

EMBODIED CARBON - Indica la quantità di emissioni di CO₂ prodotte durante il ciclo di vita di un prodotto, dalla fase di produzione alla fase di fine vita.

EMBODIED ENERGY - Indica la misura dell'energia utilizzata durante il ciclo di vita di un prodotto, dalla fase di produzione alla fase di fine vita.

END OF WASTE - (art. 184 ter del D.Lgs 152/06)
Un rifiuto cessa di essere tale (End of Waste) quando è stato sottoposto ad un'operazione di recupero e soddisfa criteri specifici da adottare nell'ambito delle seguenti condizioni:
a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;

c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

FLESSIBILITA' - Rappresenta la capacità di un sistema di essere facilmente modificato e riadattato.

GESTIONE DEI RIFIUTI DA C&D - Insieme delle attività di programmazione, organizzazione, esecuzione delle operazioni di recupero e smaltimento dei rifiuti da C&D e delle operazioni a loro preliminari.

MATERIA E PRODOTTI SECONDARI - (art. 181 bis del D.Lgs 152/06)
Le materie prime secondarie (e le sostanze e i prodotti secondari) sono definite ed individuate nel rispetto dei seguenti criteri, requisiti e condizioni:

a) siano prodotti da un'operazione di riutilizzo, di riciclo o di recupero di rifiuti;
b) siano individuate la provenienza, la tipologia e le caratteristiche dei rifiuti dai quali si possono produrre;
c) siano individuate le operazioni di riutilizzo, di riciclo o di recupero che le producono, con particolare riferimento alle modalità ed alle condi-

zioni di esercizio delle stesse;
d) siano precisati i criteri di qualità ambientale i requisiti merceologici e le altre condizioni necessarie per l'immissione in commercio, quali norme e standard tecnici richiesti per l'utilizzo, tenendo conto del possibile rischio di danni all'ambiente e alla salute derivanti dall'utilizzo o dal trasporto del materiale, della sostanza o del prodotto secondario;
e) abbiano un effettivo valore economico di scambio sul mercato. (art. 181 bis del D.Lgs 152/06)

MATERIALE/COMPONENTE RICICLABILE - Prodotto da costruzione che può essere riciclato ma potrebbe non essere riusabile.

MATERIALE/COMPONENTE RIUSABILE - Prodotto da costruzione che può essere riutilizzato ma potrebbe non essere riciclabile se non attraverso downcycling.

PREFABBRICAZIONE - Procedimento che consiste nella preparazione fuori opera degli elementi costitutivi di una struttura, nel loro trasporto a piè d'opera e nel loro successivo montaggio in opera.

PREPARAZIONE PER IL RIUTILIZZO - "Operazioni di controllo, pulizia e riparazione attraverso cui prodotti o componenti di prodotti diventati rifiuti sono preparati in modo da poter essere reimpie-

gati senza altro pretrattamento" (Direttiva europea 98/2008/CE).

PREVENZIONE DEI RIFIUTI - L'insieme delle misure prese prima che una sostanza, un materiale o un prodotto sia diventato un rifiuto, in grado di diminuirne la quantità attraverso il riuso o l'estensione del loro ciclo di vita (prevenzione quantitativa) e tutte le azioni che riducono il contenuto di sostanze pericolose nei prodotti (prevenzione qualitativa). Gli strumenti di prevenzione sono classificabili in: legali o regolamentari (autorizzazioni, sanzioni); economici e di mercato (marketing, incentivi); persuasivi o di comunicazione (informazione); tecnologici.

RECONDITION - "Possibilità di restituire solamente in parte, ad un prodotto usato, le sue prestazioni originali, sostituendo o riparando piccole porzioni. Rispetto alla strategia del "Remanufacture", l'oggetto, a seguito della procedura, può assolvere allo scopo per cui era stato generato ma con livelli di prestazione ed efficienza inferiori rispetto all'originale" (BS 8887-2:2009).

RECUPERO ENERGETICO E COMPOSTAGGIO/DISPOSE - Il recupero è qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto

o nell'economia in generale: tra le attività di recupero si ricordano il recupero di tipo energetico (termovalorizzazione) e il compostaggio.

REMANUFACTURING - "Processo industriale in grado di restituire ad un prodotto usato almeno le prestazioni avute in origine se non migliori rispetto ad un nuovo prodotto. Il prodotto viene completamente disassemblato, le parti utilizzabili vengono pulite, aggiustate ove necessario, inventariate, riassemblate con l'eventuale sostituzione delle parti non riutilizzabili" (BS 8887-2:2009).

REPURPOSE - "Operazione mediante la quale un prodotto o i suoi componenti vengono rimessi in funzione per una funzione diversa rispetto a quella originaria (per cui erano stati progettati)" (BS 8887-2:2009).

RESILIENZA - Capacità di una materia vivente di autoripararsi e di rigenerarsi dopo un danno, o quella di una comunità o di un sistema ecologico di ritornare al suo stato iniziale, dopo essere stata sottoposta a una perturbazione che ha modificato quello stato.

RETAIN - "Realizzazione di edifici già progettati in modo da avere la possibilità di essere smontati a fine vita e essere riutilizzati per nuove funzioni. Sono edifici adattabili e molto flessibili costruiti con elementi prefabbricati e con assemblaggi a

secco" (Cheshire, 2016).

RICICLO - Processo di trattamento di un materiale o di un componente, scomposto negli elementi che lo costituiscono, finalizzato a farlo ridiventare lo stesso materiale o componente rendendolo nuovamente disponibile per l'utilizzo con la funzione originaria o per altri fini. I materiali così trattati vengono immessi nuovamente nei rispettivi cicli produttivi, in sostituzione o ad integrazione delle materie prime, divenendo materie prime secondarie.

RIFIUTO - "Inteso come qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione di disfarsi; nel caso in cui il detentore non voglia disfarsene, ovvero lo volesse recuperare o riciclare, acquisisce possibilità di riutilizzo che coadiuvano gli obiettivi di tutela e salvaguardia dell'ambiente" (Direttiva europea 98/2008/UE).

RIFIUTI URBANI - (art. 184, comma 2 del D.Lgs. 152/2006)

Sono rifiuti urbani:

a) i rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti a civile abitazione;

b) i rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), assimilati ai rifiuti urbani per quantità e qualità; l'assimilazione è disposta dal Comune in base a criteri fissati in sede statale;

- c) i rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade;
- d) i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- e) i rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi ed aree cimiteriali;
- f) i rifiuti da esumazioni ed estumulazioni, nonché gli altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale diversi da quelli di cui alle lettere b), c) ed e).

RIFIUTI SPECIALI - (art. 184, comma 3 del D.Lgs. 152/2006)

Sono rifiuti speciali:

- a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali;
- b) i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando che le terre e rocce da scavo non sono rifiuti ove ricorrano determinate condizioni (dettagliatamente stabilite dall'art. 186);
- c) i rifiuti da lavorazioni industriali;
- d) i rifiuti da lavorazioni artigianali;
- e) i rifiuti da attività commerciali;
- f) i rifiuti da attività di servizio;
- g) i rifiuti derivanti da attività di recupero e smaltimento di rifiuti, da potabilizzazione ed altri trattamenti delle acque, da depurazione delle acque reflue e delle emissioni in atmosfera;

- h) i rifiuti derivanti da attività sanitarie;
- i) i macchinari e le apparecchiature deteriorate ed obsolete;
- l) i veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e le loro parti;
- m) il combustibile derivato da rifiuti (CDR).

RIFIUTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE - Residui prodotti dalle attività di costruzione e demolizione, parziale o totale, di organismi edilizi e infrastrutture, fatta eccezione per i componenti riusabili e le terre e rocce di scavo, a condizione che essi siano mantenuti accuratamente separati dagli altri rifiuti e siano avviati al riutilizzo.

RIQUALIFICAZIONE/REFIT - "Indica la possibilità di un edificio esistente di essere convertito e riadattato per rispondere a nuove esigenze funzionali evitando quindi la demolizione dell'edificio stesso. Tale strategia presuppone la modifica e la conversione, per lo più degli ambienti interni, per adattare l'edificio a nuovi usi, comportando di conseguenza una demolizione di alcune parti di edificio seppur in quantità inferiori rispetto alla demolizione totale dell'edificio" (Cheshire, 2016).

RISORSE NATURALI - Insieme delle fonti alimentari, minerarie, idriche ed energetiche disponibili e proprie del nostro Pianeta.

RIUSO/RECUPERO - Rappresenta qualsiasi opera-

zione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti o per nuovi utilizzi. E' bene distinguere tra il riuso diretto (quando l'oggetto o il materiale viene prelevato e riutilizzato subito); il riuso in seguito ad attività di riparazione e pulizia; il reimpiego attraverso l'utilizzo di alcune sole parti funzionanti e infine il remanufacturing. Il riuso può avvenire solo dopo appropriate verifiche di qualità ed integrità.

SCARTO POST-CONSUMO - "Materiale di scarto generato da insediamenti domestici o da installazioni commerciali, industriali e istituzionali nel loro ruolo di utilizzatori finali del prodotto, che non può essere utilizzato per lo scopo previsto" (Norma UNI EN ISO 14021).

SCARTO PRE-CONSUMO - "Materiale sottratto dal flusso dei rifiuti durante un processo di fabbricazione. E' escluso il riutilizzo di materiali rilavorati, rimacinati o dei residui generati in un processo e in grado di essere riutilizzati all'interno dello stesso" (Norma UNI EN ISO 14021).

SOTTOPRODOTTO - "Sostanza o oggetto originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto" (183 bis del D.Lgs. 152/06).

UPCYCLING - "Processo di conversione, che ri-

chiede creatività e progettualità, di un materiale di scarto o di un prodotto che abbia esaurito la propria funzione in un nuovo materiale o prodotto caratterizzato da una migliore qualità o da un maggiore valore ambientale. Si oppone al concetto di riciclo inteso come downcycling" (Altamura, 2015).

WATER FOOTPRINT (impronta idrica) - E' un indicatore del consumo di acqua dolce che include sia l'uso diretto che indiretto di acqua da parte di un consumatore o di un produttore. E' definibile come il volume totale di acqua dolce utilizzata per produrre beni e servizi, misurata in termini di volumi d'acqua consumati (evaporati o incorporati in un prodotto) e inquinati per unità di tempo.

PARTE I

STATO DELL'ARTE

1 ECONOMIA CIRCOLARE

Per comprendere appieno le motivazioni che hanno condotto da un lato gli studiosi allo sviluppo del concetto di economia circolare e dall'altro gli operatori del settore edilizio, negli ultimi decenni, a doversi confrontare con la tematica del consumo di materie prime, dei rifiuti e degli impatti che le differenti attività umane producono sull'ambiente, è necessario fare un brevissimo excursus storico per individuare le tappe cruciali che hanno condotto ad un forte cambiamento di tipo socio-culturale e ad una profonda revisione dei modi di agire riguardo alle problematiche appena citate. Com'è noto negli anni '70 il mondo è stato colpito da una profonda crisi, definita come crisi petrolifera, che ha riguardato non solo l'economia e la politica ma anche l'intera società. I lavori svolti all'interno del Club di Roma in quegli stessi anni (quali ad esempio "The limits to growth" nel 1972 o "Beyond the age of waste" nel 1978), nonostante ricevettero non poche critiche, in realtà misero in luce alcune problematiche di grande importanza. Per la prima volta era evidente che il Pianeta avesse raggiunto e superato i limiti di sopportazione dei carichi ambientali dovuti alle attività antropiche: emerse con evidenza la precarietà di approvvigionamento delle risorse basata, oltre che dall'oggettiva li-

mitatezza ed esauribilità delle risorse, sulla forte dipendenza dell'economia occidentale dagli approvvigionamenti provenienti al di fuori del proprio territorio. Il modello economico su cui si basano tutti i settori produttivi, compreso il settore edilizio, precedentemente agli anni '70 e alla crisi petrolifera, si fondava sulla convinzione che le riserve di materie prime a disposizione fossero pressoché illimitate e i rifiuti generati dalle attività non rappresentassero un problema né economico né sociale. Con la crisi del 1973 queste convinzioni vennero meno e, progressivamente, si prese invece coscienza sia della scarsità delle risorse sia, contestualmente, della difficoltà nella gestione dei rifiuti: temi importanti da affrontare, in quanto sempre più imminente è la necessità di salvaguardare l'ambiente che ci circonda.

1.1 Cos'è l'economia circolare?

"The Kalundborg Symbiosis is a partnership between nine public and private companies in Kalundborg. Since 1972 we have developed the world's first industrial symbiosis with a circular approach to production. The main principle is, that a residue from one company becomes a resource in another, benefiting both the environment and the economy. The Symbiosis creates growth in the local area and supports the companies CSR and the climate change mitigation." (<http://www.symbiosis.dk/en>)

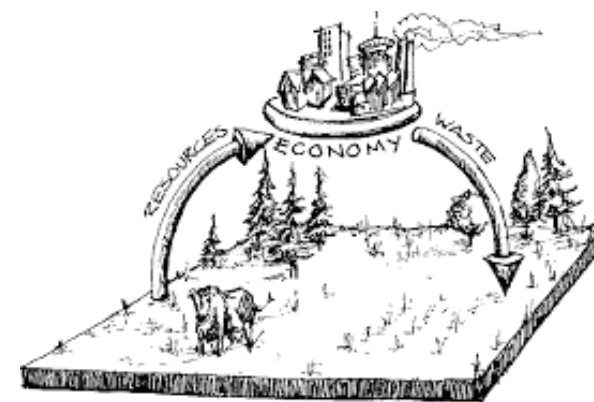


Figura 1.1: Rapporto tra sistema artificiale dell'uomo e sistema naturale; Fonte: Wackernagel, Rees, 1996;

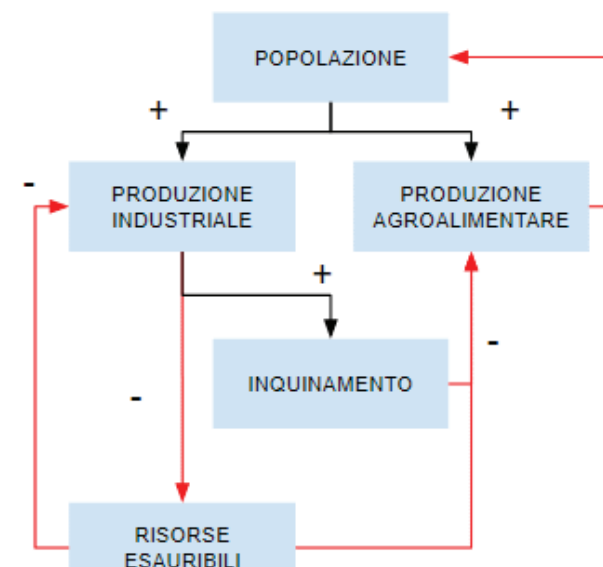


Figura 1.2: Conseguenze dell'eccessiva crescita demografica; Fonte: <https://www.ecoage.it/>;

Per cercare di comprendere il concetto di economia circolare, prima di restituire una serie di definizioni, si vuole descrivere una situazione reale in cui il "pensare circolare" è divenuto oltre che una regola da rispettare, una vera filosofia di pensiero e di crescita. Il caso studio in questione è l'ecosistema economico circolare realizzato a Kalundborg, aggregazione di industrie che cooperano dal 1961, situate a 100

chilometri ad ovest di Copenhagen. Basato sul concetto di simbiosi industriale, il progetto nasce dalla collaborazione di una serie di aziende e l'Amministrazione Locale, con l'obiettivo di ottenere vantaggi ambientali ed economici dallo scambio reciproco di sottoprodotti derivanti dalle differenti attività delle aziende. Tutto ciò permette loro di scambiare risorse ed energia, rifiuti prodotti, surplus di calore ed acqua, condividendo la capacità di intervenire reciprocamente con l'obiettivo di progredire nello sviluppo dell'area. Tale ecosistema rappresenta una tra le più grandi realtà al mondo di metabolismo industriale (si intende una partnership locale in cui si forniscono, condividono e riutilizzano le risorse per creare una collaborazione condivisa volta alla salvaguardia dell'ambiente, basandosi sul principio di prossimità delle aziende) con un approccio circolare alla produzione. Gli obiettivi strategici prefissati dalle aziende sono:

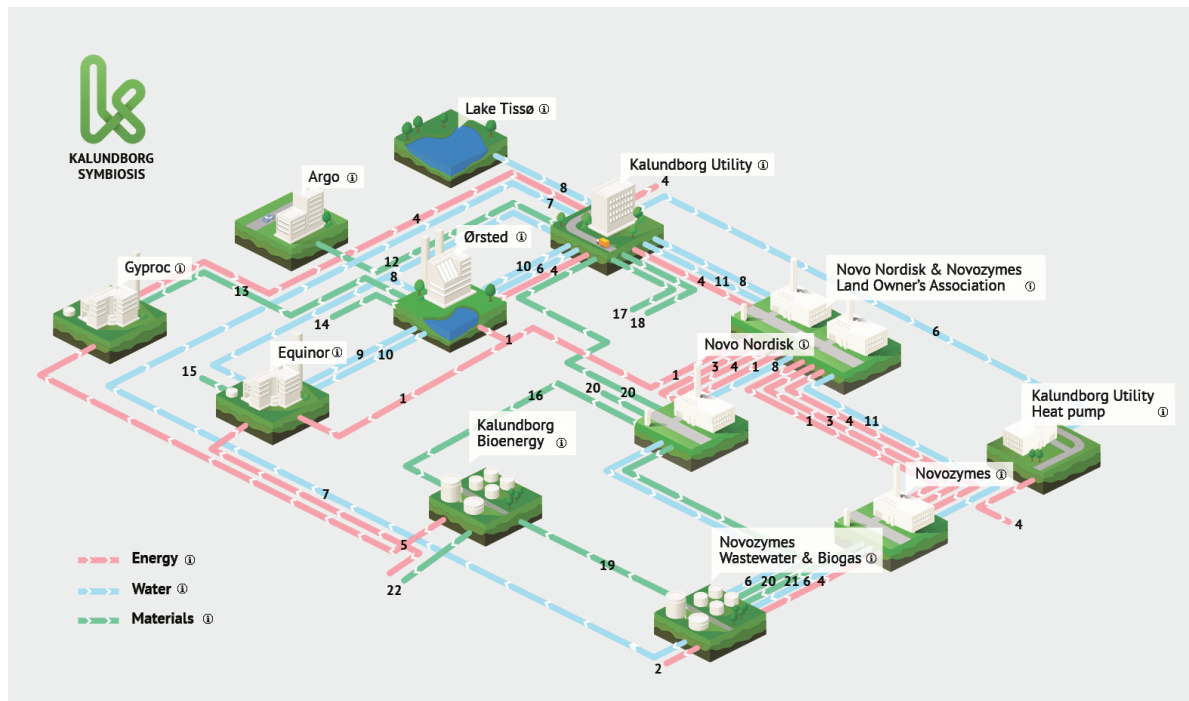


Figura 1.3: Industria Kalundborg 2015; Fonte: <https://www.symbiosis.dk/en/>;

- l'utilizzo completo e totale delle risorse: nulla viene scartato, ogni rifiuto o prodotto derivante dai processi industriali viene utilizzato come nuovo input per un'altra filiera. Acqua, energia e materiali vengono scambiati costantemente creando un flusso continuo;

- rafforzare e implementare la partnership: sviluppare una forte mentalità simbiotica in ottica circolare tra le aziende coinvolte, instaurando contatti con attori esterni, come università e visitatori, tra-

mite l'organizzazione di visite guidate e seminari;

- condividere una mentalità simbiotica: ispirare i soggetti esterni a far parte di una realtà di condivisione, supporto e relazioni reciproche, facendo leva sul valore non solo ambientale del progetto ma soprattutto economico e sociale.

Ad oggi al progetto hanno preso parte 19 aziende, che riusano materiali differenti, e numerose attività industriali che gestiscono e riutilizzano acqua, energia e rifiuti: ad esempio la biomassa prodotta dall'azienda Novo Nordisk, in origine miscelata con acqua, veniva dispersa nell'ambiente; oggi invece, viene utilizzata sia come fertilizzante organico, che, per la parte composta da lieviti, venduta come mangime per suini. Oppure relativamente ai rifiuti, i residui fangosi che derivano dall'impianto comunale per il trattamento delle acque superflue, vengono utilizzati come sostanza nutritiva nei processi microbiologici, accelerando, in tal modo, il processo di bonifica dei terreni. Infine, ad esempio l'azienda Inbicon, è un impianto che converte la paglia in biocarburanti di seconda generazione e tale azienda utilizza enzimi provenienti da un'altra azienda del quartiere, la Novozymes. Questo approccio si colloca all'interno del più ampio tema dell'ecologia industriale, secondo cui un processo produttivo dovrebbe sia ridurre la produzione di rifiuti che massimizzare l'impiego di risorse, riutilizzando gli scarti ed i prodotti a fine vita.

Nonostante nel nostro Paese l'approccio alla circolarità sia ancora una pratica poco sviluppata rispetto ad altri paesi dell'Europa, in particolare quelli nordici, non è difficile ricercare anche in Italia atteggiamenti e soluzioni innovative: sono infatti molte le start up e le aziende attente all'ambiente nate negli ultimi anni. Il consorzio Ecopneus, ad esempio, nato senza fini di lucro, ha come obiettivo quello di riciclare i pneumatici fuori uso: in Italia sono circa 350.000 le tonnellate da smaltire ogni anno di pneumatici. Riciclarli e riutilizzarli significa trasformare il materiale in granuli per pavimentare fondi stradali, campi da calcio, ecc. oppure in sigillanti, adesivi, vernici e molto altro ancora. Il consorzio Corepla, invece, è attento al riciclo della plastica servendosi di un sistema di raccolta capillare sul territorio. Nel 2016, la raccolta nazionale è stata di 961.000 tonnellate di sostanze plastiche, di cui 550.000 sono state riciclate e 304.000 utilizzate per produrre energia. Infine NAM, una giovane start-up istituitasi nel 2014, ha presentato il brevetto per l'ecoAerogel: a partire da uno studio effettuato sulla cenere della buccia di riso, tale materiale, ottenuto dalla termovalorizzazione di uno scarto della lavorazione del riso, è utilizzabile come materiale isolante termicamente ed acusticamente. Tra le città più virtuose per quanto riguarda l'applicazione di processi circolari si ricorda Milano, una delle città con migliore percentuale di raccolta differenziata e riciclo d'Europa: il depuratore di Nosedo tratta e reimmette in circolo

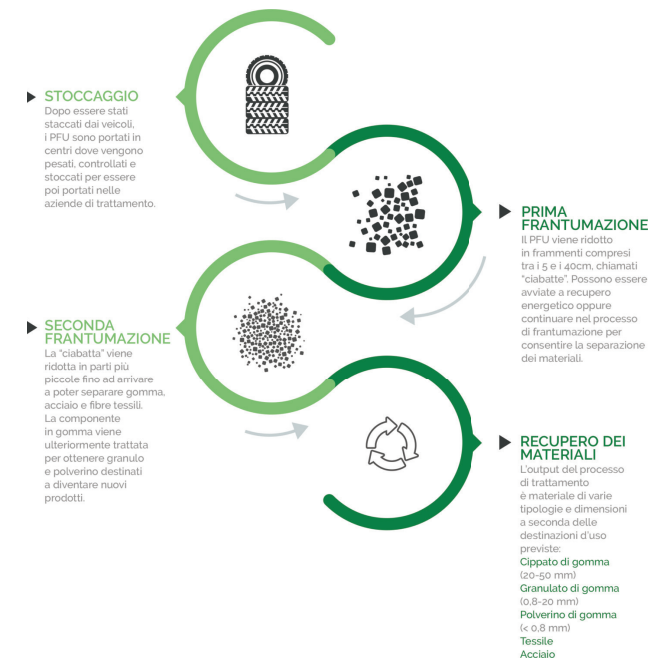


Figura 1.4: Il processo di trattamento dei pneumatici fuori uso; Fonte: <https://www.ecopneus.it/>;



Figura 1.5: Dati sistema Corepla; Fonte: Tool LCC Conai;



Figura 1.6: La EllenMacarthur Foundation è un ente nato in America, con sede a Chicago, finalizzato ad accelerare la transizione dello sviluppo dell'economia globale, con particolare attenzione verso l'economia circolare. La Fondazione opera in tre aree: Education, ispirare una generazione a ripensare il futuro, Business, sviluppare l'innovazione nelle imprese e Insight, la possibilità di una rivoluzione re-design; Fonte: EllenMacarthur Foundation;



Grafico 1.1: Spostamento del percorso dello sviluppo verso lo sviluppo sostenibile; Fonte: Walter R. Stahel, 1976;

acqua purificata derivante dall'acqua fognaria della città ed è stato premiato dalla comunità europea come esempio di best practice di sostenibilità. Tutte queste iniziative citate sono di tipo puntuale e si concentrano sulla pratica del riciclo intersettoriale.

Dopo aver elencato qualche esempio applicato di circolarità delle risorse, è opportuno comprendere a livello teorico ciò che sta alla base dell'economia circolare. L'economia circolare rappresenta un modello che prevede l'auto-sostentamento della produzione tramite il riutilizzo delle materie prime e dei componenti già utilizzati e giunti al termine del loro ciclo di vita. Il concetto che sta alla base dell'economia circolare è rappresentato dalla possibilità di considerare i sistemi economici come organismi viventi, che seguono in tutto per tutto il ciclo biologico degli organismi. Gli organismi biologici si nutrono prelevando dall'ambiente naturale energia e nutrienti, necessari per il loro sviluppo e funzionamento, e infine li re-immettono nell'ambiente per essere utilizzati da altri organismi mantenendo così un equilibrio costante nell'ecosistema. In modo più dettagliato ciò significa che adottare un approccio circolare assicura che l'output di ogni prelievo di risorse dall'ambiente e di ogni processo di trasformazione e di impiego di risorse sia re-immesso in modo efficace in ciclo e utilizzato per l'alimentazione di ulteriori processi. L'economia circolare rappresenta un'alternativa

all'economia cosiddetta lineare, la quale sempre più sta producendo effetti catastrofici sull'ambiente. Il modello lineare si è sviluppato nell'epoca della Rivoluzione industriale, quando, con il pretesto di migliorare le condizioni di vita della popolazione, si legittimava il consumo spasmodico delle risorse naturali. Secondo questa visione le risorse sono estratte ed utilizzate per creare prodotti che sono consumati e poi abbandonati in discarica dopo l'utilizzo. Oltre a rivelarsi poco efficiente sotto il profilo economico, l'economia lineare non ha prodotto miglioramenti nemmeno sotto il profilo sociale e ambientale. Secondo le stime riportate dal documento "Towards the Circular Economy", elaborato nel 2013 dalla Ellen MacArthur Foundation, il modello di consumo lineare "take-make-dispose" non sarà a lungo sostenibile: entro i prossimi vent'anni si prevedono tre miliardi di consumatori in più e tra il 2009 e il 2030 i consumatori della classe media passeranno da 1,9 miliardi a 4,9 miliardi, di cui il 90% proveniente dalla regione Asia-Pacifico. La crescente domanda proveniente dalle economie emergenti potrebbe far aumentare esponenzialmente l'uso dei materiali e, inoltre, dato il vincolo di risorse disponibili sul nostro Pianeta, tutto ciò si tradurrebbe in un incremento del costo degli input e quindi dei prezzi. Inoltre i modelli di produzione attuali, sono anche una delle cause principali dei cambiamenti climatici che stanno minacciando il futuro del pianeta e di diverse popolazioni. L'economia circolare,

quindi, tende ad annullare tali dinamiche, ottimizzando il valore residuo di un materiale, stimolandone il recupero, il riutilizzo e il riciclo verso la conservazione delle risorse e la riduzione dei rifiuti.

1.2 Origine del termine

Il termine economia circolare, nonostante possa sembrare un concetto recente, in realtà affonda radici profonde già a partire dal Settecento, periodo in cui per la prima volta si inizia a parlare di "sostenibilità". Il termine sostenibilità fu coniato nel 1713 da Carlowitz, direttore dell'ufficio reale nel Regno di Sassonia, impegnato a risolvere il problema della carenza di legname nel regno. Passando al XX secolo, è grazie all'architetto svizzero Walter R. Stahel, all'interno del rapporto "The potential for substituting Manpower for Energy", che per la prima volta si parla di "economia ciclica", affrontando tematiche quali l'estensione della durata della vita dei beni e l'importanza di offrire servizi anziché prodotti. A livello teorico, le origini del concetto di economia circolare sono principalmente radicate nell'economia ecologica e ambientale e nell'ecologia industriale, sviluppatasi a partire dagli anni '70 del Novecento. Un altro importante passaggio è avvenuto nel 1997 quando Janine Benyus conia il termine "biomimesi": per la prima volta il concetto di circolarità si associa allo studio dei modelli naturali. Questa nuova disciplina, infatti, studia le

migliori idee della natura imitandone processi e meccanismi per risolvere i problemi dell'uomo. I principi di questa nuova materia sono:

- "Nature as Model": studiare i modelli della natura per risolvere i problemi dell'uomo;
- "Nature as Measure": utilizzare standard ecologici per valutare la sostenibilità delle innovazioni;
- "Nature as Mentor": osservare e valutare la natura in base a ciò che possiamo apprendere da essa.

Nel 2002 con la pubblicazione "Cradle to cradle" di William McDonough e Michael Braungart, si affronta il tema del riciclo, criticando il sistema di riciclaggio tradizionale: i prodotti, non essendo progettati fin dall'inizio per essere trasformati in qualcos'altro, una volta riciclati generano un prodotto meno resistente e di valore inferiore. E' necessario quindi che gli oggetti vengano progettati fin da subito secondo il principio "il rifiuto non esiste". Il metodo "Cradle to Cradle" individua così due differenti cicli: quello biologico e quello tecnologico. Più nel dettaglio, nel ciclo biologico i materiali vengono restituiti alla biosfera sotto forma di compost o di altri nutrienti, dai quali è possibile creare nuovi materiali; nel ciclo tecnologico i materiali non utilizzati durante la fase d'uso del prodotto possono essere riutilizzati e recuperati all'interno di un nuovo prodotto. Nel 2010, il rapporto

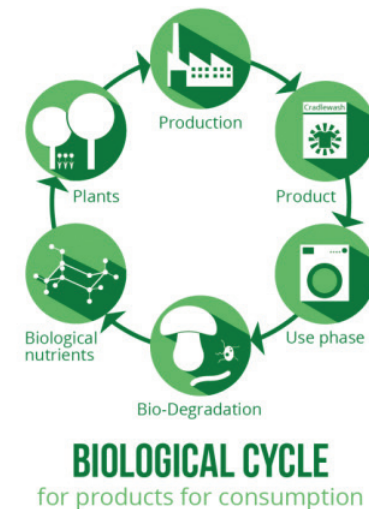


Figura 1.7: Il ciclo biologico della filosofia "Cradle to Cradle";
Fonte: William McDonough e Michael Braungart, 2002;

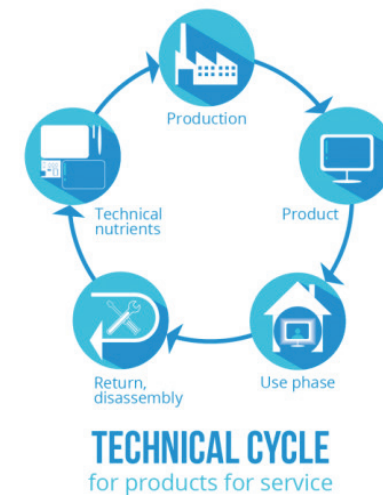


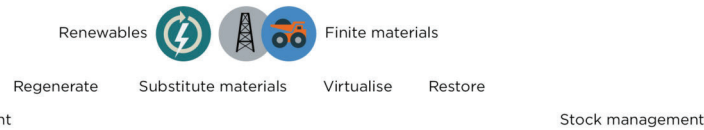
Figura 1.8: Il ciclo tecnico della filosofia "Cradle to Cradle";
Fonte: William McDonough e Michael Braungart, 2002;

OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

PRINCIPLE

1

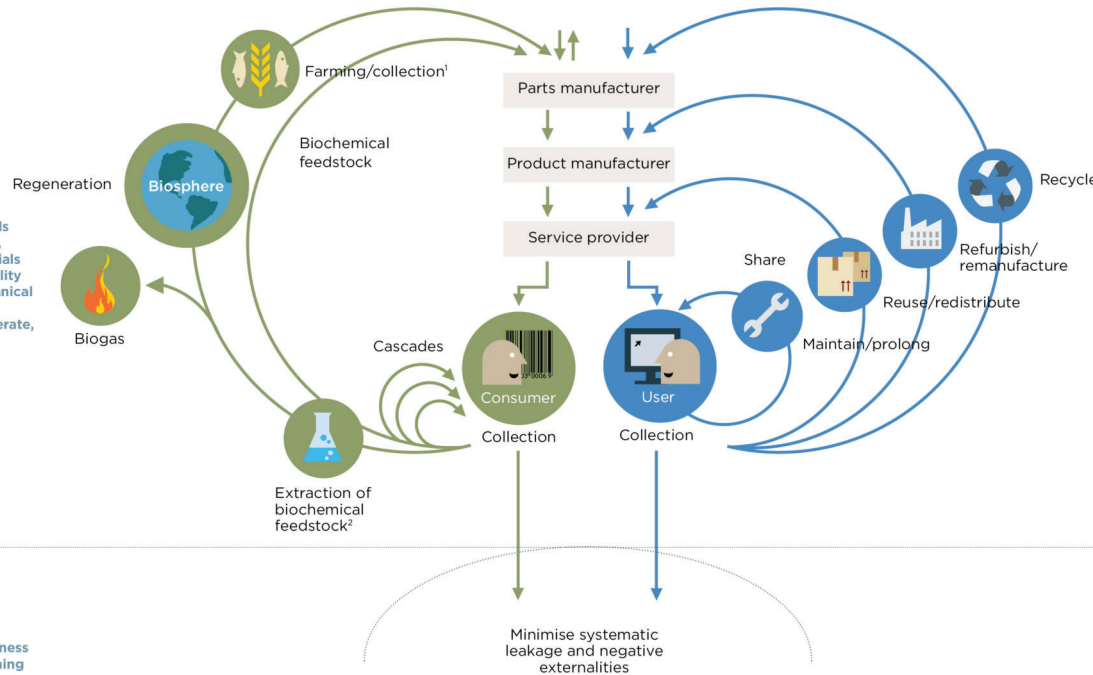
Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows
ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange



PRINCIPLE

2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles
ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop



PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities
All ReSOLVE levers

1. Hunting and fishing
2. Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input
Source: Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C).

“Blue Economy”, stilato dall'economista Gunter Pauli, racchiude molti dei concetti che sono oggi alla base dell'economia circolare: bisogna imitare la natura e i suoi sistemi non lineari, il rifiuto non esiste perché ogni prodotto può essere risorsa per un nuovo prodotto, la diversità implica benessere, un business sostenibile deve rispettare risorse, cultura, tradizioni locali ed utilizzare risorse rinnovabili (Pauli, 2010). Infine, la Ellen MacArthur Foundation, fondazione no-profit il cui scopo è accelerare la transizione verso un'economia circolare, dà una definizione completa del termine ovvero disegna la circular economy come “un'economia industriale concettualmente rigenerativa che mira a consentire flussi efficaci di materiali, energia, lavoro e informazioni in modo che il capitale naturale e sociale possa essere ricostruito. Un'economia che punta a ridurre l'utilizzo di energia per unità di output e ad accelerare lo spostamento verso l'uso di energie rinnovabili attraverso la progettazione, trattando tutto ciò che è presente nell'economia come una fonte di valore. L'idea va oltre ai requisiti della produzione e del consumo di beni e servizi” (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

1.3 I principi dell'economia circolare

“A circular economy seeks to rebuild capital, whether this is financial, manufactured, human, social or natural. The system diagram il-

illustrates the continuous flow of technical and biological materials through the value circle” (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

Il diagramma riportato in Figura 1.10, realizzato dalla Ellen MacArthur Foundation, esplicita in modo completo le differenti interazioni possibili in regime circolare e introduce i principi cardine dell'economia circolare:

- preservare e accrescere il capitale naturale esistente, controllando gli stock limitati e bilanciando il flusso delle risorse rinnovabili. Secondo tale principio, nel momento in cui è necessario l'uso di risorse, il sistema deve selezionare quale risorsa utilizzare e preferire quei processi e tecnologie che fanno uso di risorse rinnovabili e più performanti rispetto alle altre;

- ottimizzare la resa delle risorse facendo circolare e scambiando prodotti, componenti e materiali alla massima utilità in tutti i tempi, sia in cicli tecnici che biologici. Il modello distingue due differenti tipologie di cicli. I cicli biologici si occupano della gestione dei nutrienti biologici, cioè rinnovabili che possono quindi essere rigenerati nella biosfera; la seconda tipologia di ciclo è quello tecnico, in cui prodotti, componenti o materiali, o elementi non rinnovabili, vengono riadattati secondo strategie quali il riutilizzo, la riparazione, la rigenerazione o infine il riciclaggio. Il principio prevede dunque la

gestione separata dei due cicli: i nutrienti biologici devono essere reinseriti in maniera sicura nella biosfera, affinché attraverso la decomposizione possano diventare materia prima per i cicli successivi, mentre i prodotti composti da materiali tecnici vanno progettati per circolare il più possibile (non solo tramite il riciclo ma anche rigenerando e ristrutturando i prodotti).

- promuovere l'efficacia del sistema rivelando ed eliminando le esternalità negative. Questo principio pone l'accento sull'importanza di ridurre i danni e di evitare esternalità negative come l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, l'inquinamento acustico e il rilascio di sostanze tossiche.

Dai tre principi di base derivano alcuni fondamenti che riassumono le diverse teorie da cui si origina l'economia circolare:

- progettare e ripensare il rifiuto: per massimizzare la circolazione di prodotti, componenti e materiali è fondamentale una buona progettazione, tale per cui il prodotto possa essere recuperato, rigenerato e aggiornato in modo facile, minimizzando l'input di energia richiesto e massimizzando la conservazione del valore;

- rigenerare i sistemi naturali riducendo l'uso di materie prime;

- utilizzare materie rinnovabili e materie prime se-

LINEAR ECONOMY



Figura 1.10: Il sistema lineare; Fonte: <https://www.researchgate.net/>;

CIRCULAR ECONOMY



Figura 1.11: Il sistema circolare; Fonte: <https://www.researchgate.net/>;

conde;

- aumentare la condivisione e lo scambio sia di informazioni che di prodotti/materiali/componenti tra i vari settori;

- promuovere l'intersettorialità, promuovendo la cooperazione tra aziende e attori che derivano da settori diversi tra loro;

- realizzare sistemi piuttosto che prodotti e materia: ciò permette di bypassare la creazione fisica di un bene, riducendo la richiesta di materia prima per realizzarlo (un esempio pratico è la conversione dei CD o delle videocassette in download o modalità di visualizzazione in streaming);

- costruire la resilienza attraverso la biodiversità: come i sistemi naturali costruiscono la loro resilienza adattandosi all'ambiente, l'economia circolare, diversificandosi ed utilizzando sistemi naturali quali modelli, può portare alla produzione di beni e servizi favorevoli alla resilienza;

- pensare in modo sistematico: ciò permette di analizzare e progettare sistemi non lineari, evolutivi e ricchi di feedback in cui è necessario dare priorità all'efficacia dell'intero sistema e non all'efficienza della singola parte.

Per ovvi motivi, il passaggio, seppur graduale, da un approccio lineare ad uno circolare è di

difficile attuazione e impone cambiamenti radicali dei modi di produrre e consumare, oltre che sotto il profilo sociale e culturale. Tale transizione verso un'economia circolare richiede un cambiamento strutturale e l'innovazione rappresenta il cardine di questo cambiamento: la trasformazione digitale del sistema produttivo e le tecnologie derivanti dalla cosiddetta industria 4.0 offrono già oggi soluzioni per rendere possibili e persino efficienti produzioni più sostenibili e circolari. Per ripensare i modi di produzione e consumo, sviluppare nuovi modelli di business e trasformare i rifiuti in risorse ad alto valore aggiunto, abbiamo bisogno di tecnologie, processi, servizi e modelli imprenditoriali creativi che plasmino il futuro della nostra economia e della nostra società. Il sostegno alla ricerca e all'innovazione sarà pertanto un fattore determinante per dare impulso alla transizione, che concorrerà anche a rafforzare la competitività e modernizzare l'industria: è importante in tal senso concentrarsi sulle imprese e sulla forza lavoro che possono risultare penalizzanti. In particolare, riguardo alle imprese, è necessario accompagnare la cessazione delle attività obsolete preservando la ricollocazione della forza lavoro in altri settori e la dismissione degli impianti ritenuti potenzialmente inquinanti. Per quanto riguarda la forza lavoro, è fondamentale che le risorse umane impegnate in settori ed imprese non più in linea con le esigenze di sviluppo e sostenibilità non vengano escluse dal sistema socio-economico. Tali risorse vanno

preparate ad occupare nuovi posti di lavoro, allineando le competenze alle attività produttive promosse e create dal processo di transizione. In relazione a ciò è opportuno citare la ricerca commissionata dalla Ellen McArthur Foundation in relazione ai vantaggi che l'economia circolare può portare per quanto riguarda l'occupazione e il PIL: secondo tale ricerca, il passaggio verso un'economia circolare in Europa potrebbe portare a un aumento del PIL del 7% in poco più di dieci anni, generare risparmi per circa 2 mila miliardi di euro entro il 2030, aumentando dell'11% il potere d'acquisto delle famiglie e creando 3 milioni di nuovi posti di lavoro supplementari.

1.4 Verso una progettazione circolare in edilizia: principi progettuali

“Niente può sopravvivere sul Pianeta se non diventa parte cooperativa di un tutto più vasto e globale. La vita stessa ha imparato questa lezione alle origini della terra. (...) I primi esseri viventi, come l'uomo moderno, consumavano la loro base nutritiva man mano che crescevano, trasformando la riserva geochimica di materia organica in rifiuti che non potevano più servire ai loro bisogni. La vita, così come apparve per la prima volta sulla terra, si era avviata per un cammino lineare autodistruttivo. La salvò dall'estinzione l'invenzione, nell'arco evolutivo, di una nuova forma di vita che riconvertiva

i rifiuti degli organismi primitivi in materia organica fresca. I primi organismi foto sintetici trasformarono l'avidità evolversi lineare della vita nel primo grande ciclo ecologico terrestre. Chiudendo il cerchio essi ottennero quello che nessun organismo vivente, da solo, può realizzare; la sopravvivenza.” (Commoner, 1971)

La cultura ambientale contemporanea in ambito edilizio deve molto al contributo del biologo americano Commoner. La citazione posta in apertura di questo paragrafo, contenuta nella sua più importante pubblicazione “The Closing Circle: Nature, Man and Technology”, pone in luce importanti segnali in relazione al consumo e allo sfruttamento incondizionato delle risorse naturali. I processi produttivi, secondo il biologo, devono necessariamente essere “chiusi” ma l'essere umano, attraverso l'estrazione di materie prime ad un tasso più veloce della sua rigenerazione e l'emissione crescente di rifiuti impossibili da assimilare in natura, ha contribuito a rompere e ad “aprire” in modo decisivo i cicli, provocando degradazione ambientale e inquinamento attraverso un approccio lineare, definito successivamente “dalla culla alla tomba”. Le indicazioni importanti pronunciate dal biologo Commoner hanno comportato agli inizi degli anni Novanta alla delineazione di una serie di principi, ancor oggi particolarmente attuali, volti ad un “costruire circolare”. Tali principi, gli Hannover Principles (McDonough, 1992), sono stati

enunciati dall'architetto William McDonough insieme al chimico tedesco Michael Braungart in preparazione all'Expo di Hannover del 2000 al fine di assicurare che la progettazione e la costruzione degli edifici dell'esposizione rappresentassero un esempio di sviluppo sostenibile per la città con un'ottica di circolarità delle risorse.

- *insist on rights of humanity and nature to co-exist in a healthy, supportive, diverse and sustainable condition.*

- *recognize interdependence. The elements of human design interact with and depend upon the natural world, with broad and diverse implications at every scale. Expand design considerations to recognizing even distant effects.*

- *respect relationships between spirit and matter. Consider all aspects of human settlement including community, dwelling, industry and trade in terms of existing and evolving connections between spiritual and material consciousness.*

- *accept responsibility for the consequences of design decisions upon human well-being, the viability of natural systems and their right to co-exist.*

- *create safe objects of long-term value. Do not burden future generations with requirements for maintenance or vigilant administration of potential danger due to the careless*

creation of products, processes or standards.

- *eliminate the concept of waste. Evaluate and optimize the full life-cycle of products and processes, to approach the state of natural systems, in which there is no waste.*

- *rely on natural energy flows. Human designs should, like the living world, derive their creative forces from perpetual solar income. Incorporate this energy efficiently and safely for responsible use.*

- *understand the limitations of design. No human creation lasts forever and design does not solve all problems. Those who create and plan should practice humility in the face of nature. Treat nature as a model and mentor, not as an inconvenience to be evaded or controlled.*

- *seek constant improvement by the sharing of knowledge. Encourage direct and open communication between colleagues, patrons, manufacturers and users to link long term sustainable considerations with ethical responsibility, and re-establish the integral relationship between natural processes and human activity*

In particolare il sesto principio introduce il concetto di "ciclo di vita" e richiede al progettista di farsi carico di tutte le fasi di vita dei prodotti e quindi anche degli edifici, programmandoli e progettandoli in modo che non possano gene-

rare alcun tipo di rifiuto nelle varie fasi. Più nel dettaglio significa porre attenzione all'adattabilità degli edifici ad utenti e usi differenti nel corso del tempo; alla selezione dei materiali basata sulle loro caratteristiche di sostenibilità ambientale e sull'ecocompatibilità dei processi produttivi, attraverso quindi valutazioni riguardo all'energia incorporata, ai potenziali rischi di tossicità, nonché delle necessità di manutenzione; ad edifici concepiti disassemblabili e materiali riutilizzabili o riciclabili; e infine all'analisi degli impatti ambientali che i materiali generano durante l'intero ciclo di vita.

1.4.1 Gli Hannover Principles

Gli Hannover Principles rappresentano un primo approccio operativo al costruire in ottica circolare, senza tralasciare la stretta relazione tra la realizzazione di processi a ciclo chiuso e la progettazione sostenibile, e nel 2002 la teoria "Cradle to Cradle", proposta dagli stessi autori dei principi di Hannover, rappresenta un ulteriore passo avanti in relazione al progettare circolare. Partendo dal principio base di eliminazione del concetto di rifiuto (Waste equals food) essi contemplano l'edificio come un contenitore di nutrienti e di risorse da poter riutilizzare o reimmettere in nuovi cicli produttivi grazie ad una progettazione volta al disassemblaggio e al recupero dei componenti edilizi. Nel 2009,

con la pubblicazione del manifesto "Cradle to Cradle" in Architecture, prodotto da cinque studi di progettazione (Art and Build Architect, RAU Architects, A00 Architects, ZahArchitektur, OPAi) sono stati definiti tre principi progettuali per l'applicazione della teoria Cradle to Cradle:

Ciclo - Waste = Food: i rifiuti devono poter essere riconosciuti come risorsa promuovendo così cicli chiusi volti a minimizzare la produzione di nuovi rifiuti ed economizzare l'uso di risorse naturali;

Energia - utilizzo di energie rinnovabili: promozione verso l'utilizzo di energie provenienti da fonti rinnovabili quali ad esempio energia solare, idrica, eolica;

Diversità - Pensare per la modularità, la versatilità e l'adattabilità, progettando prodotti più duraturi, sviluppati per l'aggiornamento, l'invecchiamento e la riparazione. Diversi prodotti, materiali e sistemi, con molti collegamenti e misure sono più resistenti di fronte a shock esterni, rispetto ai sistemi costruiti solo per l'efficienza (resilienza).

1.4.2 Designing out waste (DoW)

A partire dagli anni 2000, la Waste & Resources Action Program (WRAP), ha individuato una serie di obiettivi e principi da applicare nel settore delle costruzioni secondo un approccio co-

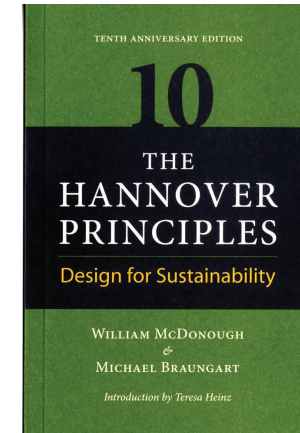


Figura 1.12: Lo scritto di William McDonough e Michael Braungart, 1992; Fonte: C2C Centre;



Figura 1.13: Marchio WRAP, Waste & Resources Action Program; Fonte: <https://www.wrap.org/>;

Sistema costruttivo	Descrizione	LID
Sistema "umido"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso l'impiego di <u>leganti idraulici e aerei (additivati e non)</u>	0
Sistema "adesivo"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso l'impiego di <u>adesivi a fusione, adesivi a reazione chimica e adesivi a evaporazione</u>	0
Sistema "saldato"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso l'impiego di <u>saldature autogene ed eterogene</u>	0
Sistema assemblato a secco con tecnica "a serraggio"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso l'impiego di <u>chiodature, bullonature, avvitature e rivettature</u>	3
Sistema assemblato a secco con tecnica "a incastro"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso l'impiego di <u>incastrati a scatto e/o tipo maschio-femmina</u>	3
Sistema assemblato a secco con tecnica "ad accostamento"	Sistema in cui la modalità prevalente di posa in opera avviene attraverso <u>semplice sovrapposizione</u>	5

Tabella 1.1: Gradi di disassemblabilità; Fonte: Giordano R., 2010;

siddetto "Designing out waste" (DoW), ovvero "Progettazione senza rifiuti". Questa metodologia propone cinque differenti strategie: Design for Reuse and Recovery, progettare per il riuso e il recupero, Design for Off Site Construction, progettare per la prefabbricazione, Design for Materials Optimisation, progettare per l'ottimizzazione dei materiali, Design for Waste Efficient Procurement, progettare per forniture con pochi scarti, Design for Deconstruction and Flexibility, progettare per la decostruzione e la flessibilità.

Tutti questi principi, in ottica circolare, devono essere applicati in tutte le fasi del processo edilizio dalla programmazione, alla progettazione, alla costruzione fino alla fine vita dei materiali/componenti edilizi e del complesso edilizio nella sua interezza.

1.4.3 Design for Disassembly (DfD)

Questo termine indica la capacità di progettare per il disassemblaggio, ovvero di progettare un edificio che a fine vita utile possa essere disassemblato e ricostruito in tutto o in parte oppure affinché alcuni suoi materiali e componenti possano essere smontati e riutilizzati per nuove funzioni. Questo concetto presuppone quindi una modalità di demolizione di tipo selettivo, differente dunque da quella classica di tipo collettivo: la demolizione collettiva, spesso ancor oggi molto

utilizzata nel nostro territorio, trasforma gli edifici in un insieme indifferenziato di macerie, riducendo al minimo i materiali potenzialmente riciclabili. Tale pratica, che si adatta ad un modello di economia lineare, non considera la possibilità di riutilizzare il materiali e il risultato è la generazione di ingenti quantità di scarti da conferire in discarica. La demolizione selettiva invece si allinea ad un'ottica di economia circolare e permette di separare i rifiuti in composti omogenei. Definita anche con il termine decostruzione, prevede la possibilità di smontare i componenti di un edificio e di controllare nel luogo di produzione dei rifiuti la loro composizione in modo tale da separare il materiale da sostanze che possono alterare il processo stesso di recupero. Lo scopo è aumentare concretamente il livello di riusabilità e riciclabilità degli scarti generati nei cantieri di demolizione, qualunque sia la struttura di partenza dell'edificio, secondo un approccio che privilegia l'aspetto della qualità del materiale ottenibile. La messa in pratica della demolizione selettiva presuppone un'attenta riorganizzazione del cantiere edilizio, che in questo caso non procede alla demolizione indistinta delle varie parti tramite mezzi meccanici ma si concentra nelle operazioni di destrutturazione e stoccaggio dei materiali omogenei in cantiere per poi destinarli a nuova vita. Il livello di disassemblabilità dei componenti è relazionato all'attenzione che il progettista ha posto nei confronti del DfD nella fase progettuale. E' infatti possibile individua-

re una gerarchia riguardo alla classificazione e valutazione delle modalità di posa in opera dei componenti di cui un edificio è costituito (Giordano, 2010): sistema "umido" (con livello di disassemblabilità zero), sistema "adesivo" (con livello di disassemblabilità zero), sistema "saldato" (con livello di disassemblabilità zero), sistema assemblato a secco con tecnica "a serraggio" (con livello di disassemblabilità tre), sistema assemblato a secco con tecnica "a incastro" (con livello di disassemblabilità quattro) e infine sistema assemblato a secco con tecnica "ad accostamento" (con livello di disassemblabilità cinque). Progettare dunque un edificio con componenti prefabbricate e assemblate a secco (con tecnica di serraggio, incastro o ad accostamento) garantisce un alto livello di disassemblabilità e un più facile riutilizzo del complesso edilizio e/o dei suoi materiali e componenti.

1.4.4 Shearing layers

Con il concetto "Shearing layers" si intende la possibilità di progettare un edificio "a strati". La durata di vita dei differenti elementi che compongono un edificio è molto variabile (da cento anni a poche settimane): la struttura portante dell'edificio, ad esempio, costituita da materiali duraturi quali il calcestruzzo, la pietra o l'acciaio, è realizzata solitamente per perdurare molti anni; allo stesso tempo l'apparato

dei servizi o degli arredi, è realizzato per durare meno in quanto le esigenze di chi abita l'edificio potrebbero cambiare. Per questo motivo è necessario mantenere approcci differenti di progettazione nei confronti sia degli elementi duraturi che di quelli più mutevoli o temporanei. La terminologia "Shearing layers" è stata definita per la prima volta da Frank Duffy, il quale individua cinque differenti livelli o layers:

- Shell, ovvero la struttura portante dell'edificio e l'involucro;
- Services, ovvero il sistema impiantistico;
- Scenery, ovvero la suddivisione interna;
- Set, ovvero l'arredo interno.

Successivamente Stewart Brand, nello scritto "How Buildings Learn: What Happens After They're Built" (Brand, 1994) espande questi quattro principi in sei principi che sono 1) Site, 2) Structure, 3) Skin, 4) Services, 5) Space Plan e 6) Stuff. In questa suddivisione la struttura portante e il rivestimento esterno dell'edificio vengono considerati due livelli separati proprio per permettere una ancor maggiore possibilità di riadattamento dell'edificio. I vantaggi che si presenterebbero se gli edifici venissero progettati "a strati" sono molteplici: gli edifici sarebbero molto più flessibili e adattabili e a loro fine vita utile potrebbero accogliere senza troppe problematiche nuove funzioni; inoltre, ciò permetterebbe un veloce disassemblaggio delle varie

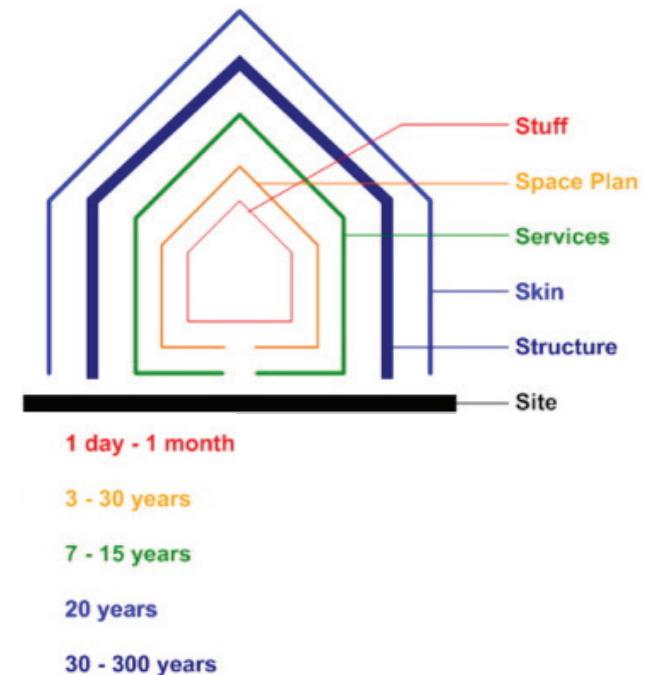


Figura 1.14: I sei livelli di Stewart Brand; Fonte: Brand, 1994

porzioni, in quanto ogni livello è indipendente dagli altri, facilitando i processi di manutenzione.

Successivamente David Cheshire, direttore della sostenibilità di AECOM, azienda americana attiva nel campo ingegneristico, nella pubblicazione "Building revolutions: Applying the circular economy to the built environment" del 2016, riprende il concetto di Shearing Layers e cerca di riassumere tutti i principi e gli approcci progettuali al tema dell'economia circolare e al concetto della chiusura dei cerchi sviluppati fino a quel momento nel solo settore delle costruzioni, così da definire un quadro strategico specifico del settore. Oltre a definire una serie di scenari di fine vita dei componenti edilizi e degli edifici, individua nella sua trattazione anche una serie di principi che un buon edificio dovrebbe avere affinché possa essere riutilizzato a fine vita. Tali principi possono così essere riassunti: "Building in layers", "Designing-out waste", "Design for adaptability", "Design for disassembly" e "Selecting materials".

2 DAL RIFIUTO ALLA RISORSA: DIMENSIONAMENTO DEL PROBLEMA

Questo secondo capitolo è di fondamentale importanza in quanto ha come obiettivo quello di inquadrare la tematica ed esporre le problematiche relative all'eccessiva produzione di rifiuti e al consumo di risorse, definendo così le dimensioni del problema alle differenti scale ovvero a partire dalla macro scala, riguardante la città, alla meso scala, riguardante l'edificio nella sua completezza, fino ad arrivare alla micro scala, quella del materiale e del prodotto (Pomponi et al., 2017). Dopo un breve inquadramento generale riguardante la produzione di rifiuti e il consumo di risorse in termini globali e relativi a tutti i settori, ci si concentrerà sul tema declinandolo verso il settore edilizio e le attività ad esso connesso, cercando di comprendere più nel dettaglio l'entità di tali questioni relativamente a quest'ambito.

2.1 Il problema dei rifiuti alla macro scala

La problematica dei rifiuti è una questione piuttosto recente: se prima degli Anni 70' è stata completamente sottovalutata e quindi trascurata, in seguito sono state intraprese azioni poco risolutive sotto il profilo ambientale, quasi per celare il problema, quali ad esempio la combustione o l'occultamento di rifiuti nel sottosuolo. Tuttavia la

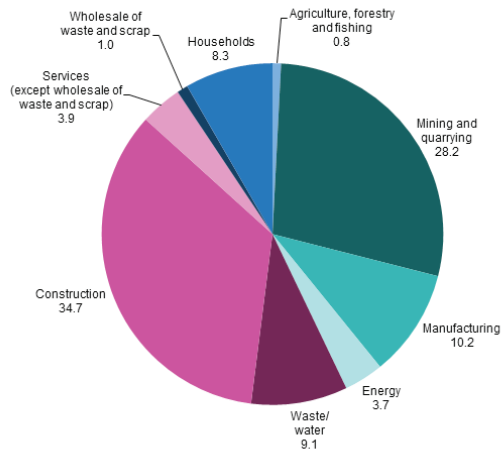


Grafico 2.1: Produzione di rifiuti delle attività economiche e domestiche, UE-28, 2014 (%); Fonte: Eurostat;

crescente quantità e la varia tipologia dei rifiuti ha costretto a prendere atto della situazione e conseguentemente ricercare adeguate soluzioni per il suo controllo. Purtroppo ancor oggi, i rifiuti vengono abbandonati nell'ambiente affidando alla natura l'ingiusto ed irragionevole compito di "decomporli", attraverso tempi solitamente lunghi se non lunghissimi. La quantità di rifiuti prodotta dipende principalmente da alcuni fattori quali: la popolazione (più il mondo è popolato più rifiuti vengono prodotti), il modello di crescita economica (più si produce per soddisfare le esigenze della popolazione più si creeranno rifiuti), l'inefficienza nei processi industriali (per quanto riguarda lo spreco di risorse) e i comportamenti dei consumatori (ISPRA, 2016). La nostra civiltà in realtà andrebbe rinominata come "civiltà dello spreco" in quanto non è in grado di consumare e utilizzare la merce in modo esauritivo. In economia, il consumo è definito come l'uso dei beni che dà luogo a una progressiva perdita della loro utilità e assicura alla specie umana la sopravvivenza e la soddisfazione dei propri bisogni. I rifiuti sono il prodotto ultimo del processo economico: sono il residuo dei beni materiali a cui sono stati sottratti sia il valore d'uso, sia quello di scambio (Monsù Scolaro, 2017). Secondo l'International Solid Waste Association (associazione mondiale che riunisce gli operatori del settore per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti) attualmente nel mondo si producono circa 4 miliardi di tonnellate di rifiuti ogni anno, di cui

il 17% del totale è rappresentata da rifiuti urbani (prodotti dalle famiglie ovvero domestici), mentre l'83% del totale riguarda i rifiuti speciali, ovvero derivanti da attività industriali, produttive ed edilizie. Il settore delle costruzioni, rientrando nei rifiuti di tipo speciale, rappresenta uno tra i settori economici che genera la maggior quantità di rifiuti sia per quanto riguarda la fase di costruzione e demolizione (39 % del totale) sia per le attività ad esso connesso (27% del totale) e complessivamente è dunque responsabile del 65% del totale dei rifiuti prodotti a scala europea (Schor, 2011). Attualmente, una città di circa 1 milione di abi-

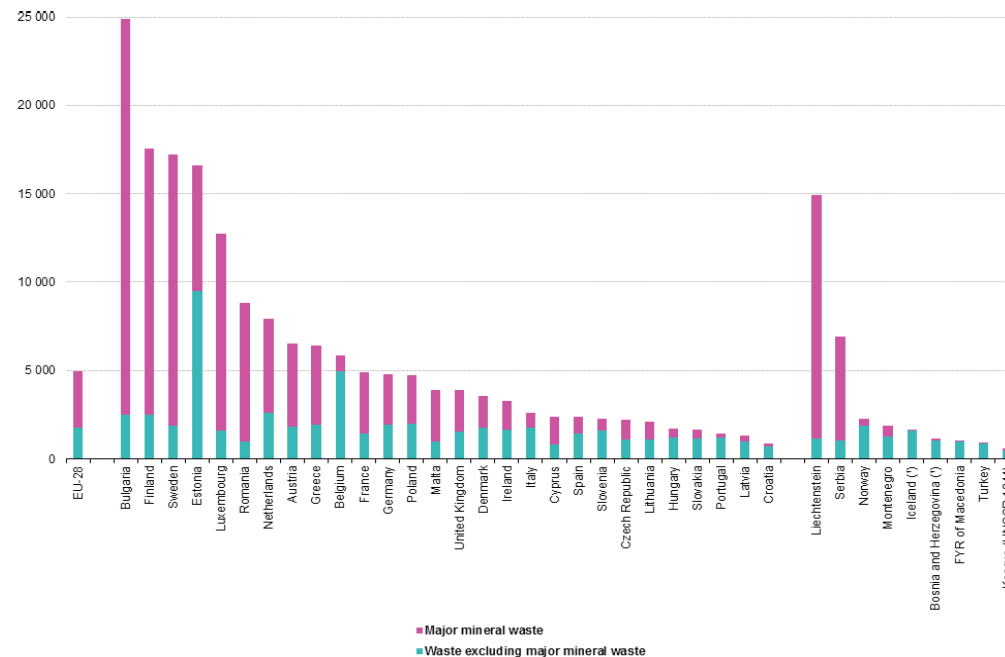


Grafico 2.2: Produzione di rifiuti, 2014 (kg per abitante); Fonte: Eurostat;

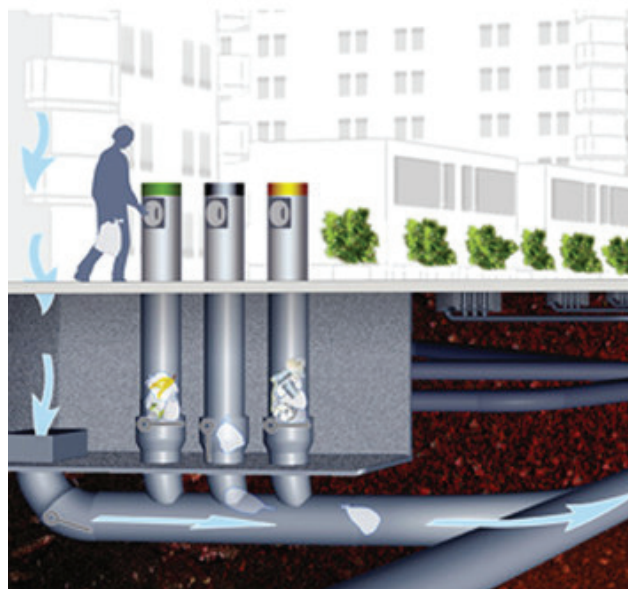


Figura 2.1: Tecnologia svedese Envac per la raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani. L'immondizia, aspirata in condotte sotto vuoto, corre per vie sotterranee a 70 chilometri all'ora verso la centrale di smistamento, distante circa 4 km. L'unica condizione chiesta agli utenti è la differenziazione della plastica, carta e organico. Una volta giunti, i rifiuti vengono ulteriormente differenziati e mediante impianti altamente ecologici essi vengono impiegati per produrre energia; Fonte: Envac;

tanti consuma ogni giorno 115.000 ton di combustibile fossile e 320.000 ton d'acqua, mentre produce 1.500 ton di CO₂, 300.000 ton di acqua inquinata e 16.000 ton di rifiuti solidi (Mon-sù Scolaro, 2017). Questi dati sono costretti ad aumentare sempre più nel corso dei prossimi anni, basti pensare alla stima fatta dalle Nazioni Unite riguardo l'aumento della popolazione mondiale (entro il 2025 salirà a 8,2 miliardi ed entro il 2050 a 9,7 miliardi) e l'aumento conseguente del PIL (3% tra il 2011 e il 2050) ("World Population Prospects", Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, 2017). Non bisogna tralasciare il rilevante ruolo che in questo processo di crescita sarà rappresentato dai Paesi Emergenti, la cui impronta ecologica potrebbe crescere in modo non più sostenibile dal nostro Pianeta (basti pensare alla Cina o all'India, che entro il 2050 sarà la terza economia mondiale in termini di PIL). La tematica dei rifiuti e del consumo delle risorse rappresenta dunque un problema per l'intero Pianeta in quanto il suo livello di crescita è aumentato a dismisura: gli impatti, derivanti da una cattiva gestione, si riscontrano infatti sia a livello ambientale, che economico ed infine socio-sanitario.

2.1.1 Strategie e buone pratiche alla macro scala

Seppur ridotti, esistono esempi e casi studio che hanno avanzato una politica di gestione e trat-

tamento dei rifiuti solidi urbani virtuosa:

Helsinki: 600 mila abitanti, circa 187 kmq di superficie e una produzione di 164 kg di rifiuti solidi urbani per abitante all'anno. Per quanto concerne la raccolta differenziata, ogni edificio ha uno spazio adibito a spazzatura, divisa nei vari contenitori per la differenziata e sono i condomini ad organizzarsi nella gestione delle tempistiche e frequenze di raccolta. Inoltre vengono impartiti consigli da parte dell'Autorità per i servizi ambientali della regione di Helsinki riguardo alla corretta gestione della raccolta, a come utilizzare l'umido ad esempio per il proprio giardino e come ridurre al massimo la produzione di rifiuti. Inoltre carta e plastica possono essere portate in apposite stazioni, sparse per la città, dove macchine automatiche restituiscono ai cittadini dai 15 ai 40 centesimi a seconda di quanto consegnato. *Stoccolma:* come tutta la Svezia, la città è orientata verso la produzione di energia ottenuta bruciando i rifiuti ma negli ultimi anni sono state introdotte delle tecnologie più innovative e pulite tra cui il sistema ad aria compressa o di raccolta pneumatica, il quale aspira i rifiuti dal cassonetto e li trasporta ai centri di raccolta attraverso tubi sotterranei, eliminando così il trasporto via camion.

Berlino: 3 milioni di abitanti, circa 890 kmq di superficie, produce annualmente circa 1 milione di tonnellate di rifiuti solidi urbani. In questo caso il sistema di raccolta differenziata è por-

ta a porta, gestito da una società senza scopo di lucro BSR e con 5000 addetti. Nel 2010, grazie a questa corretta gestione, la percentuale di raccolta differenziata è stata di oltre il 40%.

San Francisco: fino al 1989 la gestione dei rifiuti era affidata quasi interamente alle discariche; con l'emanazione della legge Integrated Waste Management Act si demandava alle giurisdizioni locali il raggiungimento degli obiettivi di raccolta differenziata del 25% entro il 1995 e del 50% entro il 2000. Si attivarono attività di supporto verso i progetti di riciclo, dell'acquisto di prodotti riciclati e della minimizzazione dei rifiuti. Già nel 2011 San Francisco differenziava il 77% dei propri rifiuti e ogni punta all'obiettivo rifiuti zero entro il 2020. Questa politica ha inoltre creato nuovi posti di lavoro

Italia: non molti sono i comuni virtuosi in relazione alla gestione e al trattamento dei rifiuti. Sono da ricordare il Comune di Ponte nelle Alpi, Belluno, con un sistema di raccolta porta a porta, ha una percentuale di differenziata dell'89%; Salerno, comune di 140 mila abitanti, presenta una raccolta porta a porta con un nuovo impianto di compostaggio per l'umido e una percentuale di differenziata del 68%.

2.2 Il problema dei rifiuti nel settore edile

All'interno del contesto europeo, il settore edile è responsabile annualmente del 40% dei consumi energetici, del 35% delle emissioni di gas serra e di più del 50% del volume di rifiuti prodotti (Davidsen et al., 2010). Il concetto di rifiuto nel settore edile è una definizione molto ampia e complessa in quanto i rifiuti si generano lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio: oltre alla quota di rifiuti prodotti in cantiere durante la fase di costruzione e demolizione (C&D), esistono altre fonti di generazione di rifiuti, sempre correlabili al settore dell'edilizia quali ad esempio le attività estrattive dei materiali, le lavorazioni negli stabilimenti produttivi e gli imballaggi. Per queste ragioni, nonostante nella trattazione si farà principalmente riferimento ai soli materiali provenienti dalla costruzione e demolizione, è opportuno citare e quantificare anche le altre differenti tipologie di rifiuti prodotti in questo settore: la fase di estrazione delle materie prime genera ingenti quantità di rifiuti soprattutto nella categoria dei minerali; per quanto riguarda la fase della fabbricazione, tutti gli stabilimenti produttivi generano rifiuti da un minimo di 1,3 milioni di tonnellate per il settore del vetro fino ad un massimo di 54,2 milioni di tonnellate nel settore del legno; infine la fase di fine vita per gli inerti è ancora quella con maggior incidenza (Monsù Scolaro, 2017). Per quanto riguarda gli imballaggi, è stato evidenziato come essi pro-

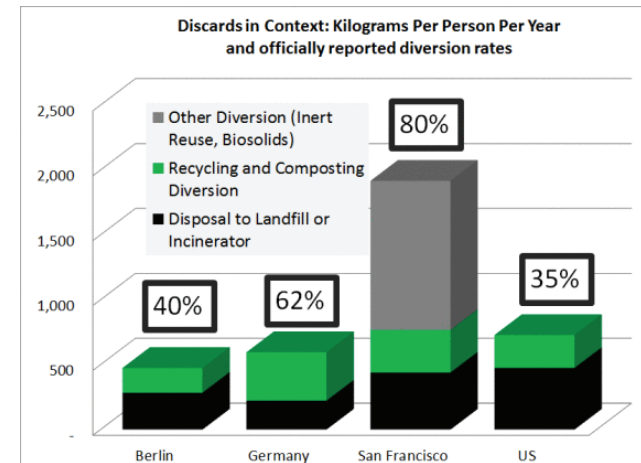


Grafico 2.3: La città di San Francisco, ad oggi, permette una percentuale di raccolta differenziata pari all'80%, molto più elevata rispetto a quella di altre città; Fonte: <https://www.ecodallecittà.it/>;

Paese	Produzione di C&D (milioni di tonnellate)	% materiale riciclato o riutilizzato	% materiale conferito in discarica o inceneritore
Paesi Bassi	25,7	98	2
Irlanda	3,1	97	3
Danimarca	8,1	92	8
Germania	191,8	91	9
Belgio	6,9	87	13
Austria	8,3	87	13
Regno Unito	43,2	86	14
Francia	64,2	63	37
Finlandia	15,9	55	45
Svezia	1,3	50	50
Spagna	27,7	38	62
Italia	48,6	9	91
Media	37,1	71,1	28,9

Tabella 2.1: Produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nei Paesi Membri e relative percentuali di riciclaggio e conferimento in discarica; Fonte: Eurostat 2012/2013;

ducano circa il 20% dei rifiuti generati nei cantieri di edilizia residenziale (Monsù Scolaro, 2017).

2.2.1 I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) nell'UE

I rifiuti da costruzione e demolizione, come già anticipato, rappresentano una quota rilevante (circa il 39 %) di rifiuti speciali rispetto alla produzione totale: complessivamente nell'arco temporale di un anno vengono generati 510 milioni di tonnellate di rifiuti da C&D, pari a circa 1.126 kg/abitate all'anno (Davidsen et al., 2010). I maggiori produttori di rifiuti da C&D nell'UE sono nell'ordine: Francia, Germania, Regno Unito, Paesi Bassi e Italia. All'interno di questa tipologia di rifiuti è possibile individuare tre differenti categorie: la prima riguardante i rifiuti generati dall'attività di costruzione, la seconda riguardante i rifiuti generati dall'attività di demolizione e infine una terza categoria riguardante i rifiuti generati dall'attività di recupero del patrimonio edilizio esistente. I rifiuti da costruzione sono in generale i rifiuti puliti, quali rimanenze di materiali, scarti di lavorazione, materiali o prodotti difettosi e imballaggi; alcuni di essi possono essere pericolosi (quali residui di vernici, prodotti a base di catrame) e rappresentano circa il 15-20% sul totale (Cumò et al., 2015). I rifiuti da demolizione sono di natura mista costituiti da materiale inerte e tra i

principali si ricordano: calcestruzzo, laterizio, ceramica, legno, vetro, plastica, miscele bituminose, catrame di carbone e prodotti contenenti catrame, metalli, leghe e terra. Questa tipologia di rifiuti rappresenta circa il 30%-50% del totale dei rifiuti da C&D prodotti e all'interno di essa si distinguono i rifiuti provenienti dalla micro demolizione dai rifiuti provenienti dalla macro demolizione (Cumò et al., 2015). Infine, i rifiuti provenienti da attività di recupero del patrimonio edilizio esistente sono molto simili ai rifiuti da demolizione ma contengono maggiori quantità di materiali per finiture e di materiale lapideo di grossa/ media pezzatura e rimanenze e scarti di lavorazione. La percentuale di questa tipologia di rifiuti è molto elevata e varia dal 40% al 50% rispetto al totale (Cumò et al., 2015). Il campo edile, infatti, rappresenta una percentuale rilevante riguardo alla quantità di rifiuti prodotti in Europa ma, nonostante questi dati, i costruttori e gli operatori del settore non sembrano ancora interessarsi delle ricadute delle loro azioni sull'ambiente. La percentuale di riciclo dei rifiuti da C&D varia notevolmente tra diversi paesi dell'Unione e raggiunge valori significativi soltanto in alcuni paesi (Regno Unito, Paesi Bassi, Germania): secondo le ultime stime, attualmente la percentuale media di riciclo in Europa raggiunge il 46%, ma tale dato presenta un alto livello di incertezza a causa dell'assenza di dati affidabili in diversi paesi, inclusa l'Italia.

2.2.2 I rifiuti da C&D in Italia

In Italia, la stima quantitativa e qualitativa dei rifiuti prodotti dal settore edile è ancora un'operazione complessa dovuta alla mancanza di rilevazioni costanti e sufficientemente precise. Inoltre, trattandosi molto spesso di interventi di piccola ristrutturazione o manutenzione straordinaria, è ancora più complesso analizzare un quantitativo effettivo di rifiuti prodotti poiché tali attività vengono di frequente svolte senza controlli (senza quindi presentare una dichiarazione di inizio lavori, senza rispettare le normative di smaltimento). A livello indicativo, il "Rapporto rifiuti speciali 2012" dell'ISPRA indica in 56,7 milioni di tonnellate la produzione di rifiuti da costruzione e demolizione nell'anno 2009, corrispondente ad una tonnellata pro capite, ovvero un terzo del volume complessivo dei rifiuti prodotti nello stesso anno in Italia. E' inoltre opportuno precisare che per loro natura i rifiuti definiti da C&D presentano una composizione molto variabile (Jakobsen, 1992), sia per la diversa origine dei rifiuti, sia per molteplici altri fattori quali le tipologie e le tecniche costruttive locali, il clima, l'attività economica e lo sviluppo tecnologico della zona, nonché le materie prime e i materiali da costruzione localmente disponibili. L'esatta composizione chimico fisica e la natura dei rifiuti di demolizione sono dati fondamentali da rilevare per la corretta gestione delle diverse fasi di trattamento.

In Italia, ad esempio, la composizione dei rifiuti da costruzione e demolizione è dominata dalla frazione inerte, che ne costituisce in media il 75-85%, e all'interno di essa i materiali ceramici rappresentano quasi il 50% del totale: ciò dipende molto dal fatto che più dell'80% delle demolizioni avviene in interventi sull'esistente e vede la rimozione di partizioni interne in mattoni. Inoltre, il calcestruzzo rappresenta complessivamente il 30% dei detriti, mentre il restante 25% è composto da asfalto, terre e rocce di scavo e altri scarti: la maggior parte di questi materiali inerti viene conferita agli impianti non differenziati e ciò influenza gravemente sulla qualità del riciclato prodotto. L'ANPAR (Associazione Nazionale Produttori Aggregati Riciclati) ha sottolineato che solo una percentuale ridotta dei rifiuti inerti

Tipologia	Quantitativo annuale (t)		
	2011	2012	2013
Rifiuti speciali non pericolosi esclusi i rifiuti stimati (MUD)	60.965.255 ^{a b}	64.444.497 ^{a b}	66.722.728 ^b
Rifiuti speciali non pericolosi esclusi i rifiuti stimati da C&D (integrazioni stime)	9.123.860	8.524.429	8.248.861
Rifiuti speciali non pericolosi da C&D (stime)	58.079.423	51.629.208	47.939.874
Rifiuti speciali non pericolosi con attività ISTAT non determinata (MUD)	62.336	78.389	38.366
Totale non pericolosi	128.230.874	124.676.523	122.949.829
Rifiuti speciali pericolosi (MUD)	7.268.439	7.710.658 ^a	7.483.341
Veicoli fuori uso (MUD)	1.377.738	1.162.593	1.167.350
Rifiuti speciali pericolosi con attività ISTAT non determinata (MUD)	26.217	11.794	6.076
Totale pericolosi	8.672.394	8.885.045	8.656.767
Rifiuti speciali con CER non determinato (MUD)	3.807	5.281	403
Totale rifiuti speciali	136.907.075	133.566.849	131.606.999

Tabella 2.2: Produzione nazionale di rifiuti speciali, anni 2011-2013; Fonte: ISPRA;

recuperati (circa il 10% del totale) raggiunge in effetti la cosiddetta "end of waste", grazie ad un processo di riciclo che li trasforma in prodotti con idonea marcatura CE. Il limitato tasso di recupero dei rifiuti è inoltre incentivato dal livello delle tariffe per il conferimento in discarica dei rifiuti inerti, più basso rispetto ad altri paesi europei, e dalla mancanza di informazioni relative agli impianti autorizzati al recupero delle diverse frazioni dei rifiuti da C&D presenti sul territorio italiano.

2.2.3 Gli edifici in abbandono

In correlazione al tema del consumo delle risorse e della produzione di rifiuti è necessario indagare anche la questione degli edifici o delle aree in abbandono. Per meglio comprendere questa tematica si ritiene inquadrare la dimensione del problema nel contesto italiano. Dal censimento ISTAT del 2011, è emerso che nel nostro Paese, sono veramente numerosi gli edifici non utilizzati che potrebbero diventare nuova risorsa: il 13% si trova in Valle D'Aosta e oltre il 9% in Abruzzo e in Campania. Nel periodo 2001-2011, si è registrata una significativa riduzione nel Friuli (-22,3%) e in Sardegna (-10,6%), e un aumento consistente in Emilia Romagna (quasi il 20% in più rispetto al 2001), in Liguria e nelle Marche. A livello complessivo, il 17% degli edifici non utilizzati rispetto al totale nazionale si trova in Sicilia, il 9,3% in Calabria e l'8,4% in Campania. Inoltre nel 2013, il WWF ha svolto un ulteriore censimento del patrimonio edilizio in abbandono per capire quali tipologie di edifici o terreni ne facessero parte e in che misura. Sono stati censiti edifici storici, ex edifici produttivi, insediamenti militari, reti infrastrutturali e anche edifici mai "finiti" e "mal gestiti". Molto spesso è emerso come le cause che hanno portato all'abbandono siano dovute alla mal gestione o ai cattivi investimenti pubblici di Enti ed Amministrazioni. Troppo spesso assistiamo alla realizzazione di nuovi complessi edilizi su suolo libero e vergine e troppo poco assiduamente invece

1. Totale area di studio	224.051.043 mq	
2. Totale urbanizzato	89.111.268 mq	
3. Totale dismesse + antropizzate vuote	25.120.551 mq	100%
Dismesse	7.610.064 mq	30,5%
<i>Produttive</i>	4.769.523 mq	19%
<i>Sottoutilizzo militare</i>	1.251.770 mq	5%
<i>Pubblico</i>	611.778 mq	2,5%
<i>Relitti infrastrutturali</i>	392.616 mq	1,5%
<i>Dismesso militare</i>	251.334 mq	1%
<i>Dismesso residenziale</i>	188.785 mq	1%
<i>Dismesso storico</i>	153.258 mq	0,5%
Antropizzate vuote <i>(destinate a standard non ancora realizzati; in attesa di trasformazione per edificabilità prevista da piano o aspettativa di varianti o nuovi piani; residuali e inedificabili per forma e dimensione, giacitura; fasce di rispetto; intercluse ovvero non più coltivate perché inglobate nel tessuto urbanizzato)</i>	17.501.487 mq	69,5%

Tabella 2.3: Classificazione delle aree in abbandono; Fonte: WWF, 2013;

vediamo aree ed edifici dismessi riqualificati e riutilizzati. Questa tematica è sentita anche sotto il punto di vista normativo e sempre più emergono azioni volte ad una gestione responsabile dell'uso del suolo e di recupero del patrimonio edilizio esistente. A livello normativo il DDL n. 2383 sul "Contenimento di consumo di suolo e riuso del suolo edificato", approvato dalla Camera dei Deputati nel 2016, prevede oltre all'azzeramento del consumo di suolo entro il 2050 e alla rigenerazione urbana, anche un incentivo al recupero e la riqualificazione del costruito. Allo stesso modo i Comuni dovranno censire il patrimonio di edifici sfitti e delle aree dismesse o non utilizzate, per creare così una banca dati del patrimonio edilizio disponibile per il recupero o il riutilizzo. In conclusione lo sforzo che l'intera società e in particolar modo gli operatori del settore edile dovrebbero compiere in relazione alla tematica dell'abbandono e del recupero del patrimonio esistente è essenzialmente basato sulla possibilità di contemplare, così come per i prodotti e i materiali di scarto, anche gli edifici abbandonati e dismessi come possibile futura risorsa, dando loro nuova vita o utilizzarli come banche per l'approvvigionamento di materiali (Schouten, 2014).

2.3 L'approvvigionamento delle risorse

Oltre alla problematica della produzione ingente e ancor oggi poco controllata dei rifiuti è

importante non tralasciare anche la questione, correlata ad essa, dell'utilizzo, o meglio consumo, delle risorse naturali. Come accennato inizialmente ciò rappresenta un reale problema per l'intero Pianeta in quanto il suo livello di crescita è aumentato a dismisura e conseguentemente anche l'utilizzo di materie prime, riducendo sempre più la disponibilità delle risorse. Nel contesto italiano, le attività estrattive sono principalmente connesse all'ambito dell'edilizia e delle infrastrutture e generano un forte impatto sul paesaggio, a causa dello sfruttamento del suolo e dei gravi impatti ambientali delle operazioni di cava, tra cui l'apporto negativo al già evidente dissesto idrogeologico del nostro Paese. Il settore edilizio è infatti il maggior responsabile del consumo di materie prime, in particolar modo di tipo naturale: i materiali da costruzione utilizzati sono più di 2 miliardi di tonnellate/anno e consumano circa il 50% delle materie prime estratte complessivamente ogni anno dall'intero territorio mondiale (Davidsen et al., 2010). Inoltre l'attività estrattiva nel nostro territorio è molto estesa: le cave di materiali lapidei attive sono 5.736, con 144 milioni di mc tra sabbia, ghiaia, calcare e pietre ornamentali, estratti nel 2010, e i siti dismessi, nelle Regioni monitorate, ammontano a 13.016 (Lega Ambiente, Rapporto Cave, 2011). Nel 2010, nel settore edilizio, sono stati estratti da cava: 89 milioni di metri cubi di ghiaia e sabbia per la produzione di calcestruzzo; 41,7 milioni di metri cubi di calcare, essenziale per la produzio-

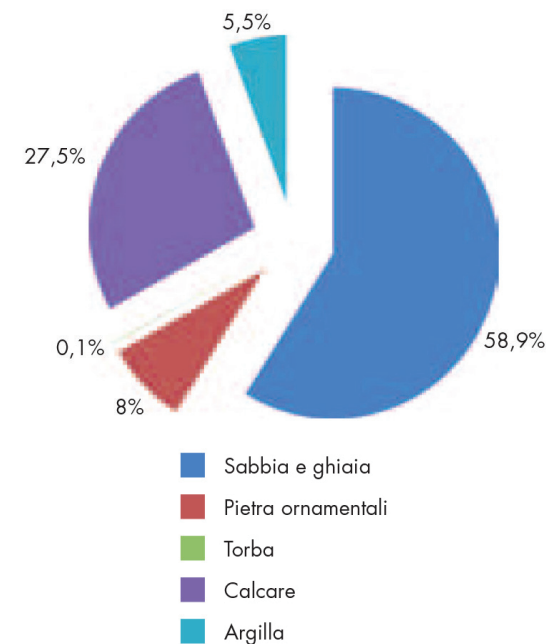


Grafico 2.4: Ripartizione delle cave per gruppi di materiali estratti; Fonte: Legambiente, Rapporto Cave; 2011;

ne del cemento; 12 milioni di metri cubi di pietre. L'estrazione di materiali da cava in Italia è per l'80% finalizzata alla produzione di calcestruzzo, per il quale il paese detiene il primato europeo di consumo: 565 chilogrammi pro capite nel 2010 a fronte dei 404 chilogrammi della media europea. In conclusione le principali problematiche riscontrabili in questo settore nel contesto italiano sono dovute ad una legislazione obsoleta in materia, ad una mancanza di uno strumento di pianificazione aggiornato, a costi irrisori dei canoni, all'inefficienza della gestione da parte dello Stato, il quale non amministra le attività estrattive in modo diretto, alle complicazioni burocratiche e alla mal gestione dei siti con conseguente accumulo dei materiali di scarto.

3 IL QUADRO NORMATIVO

3.1 Evoluzione a scala europea

A livello normativo, la prima comunicazione in relazione alla gestione dei rifiuti è del 1972 con la quale la Comunità Europea manifesta la necessità di prevenire e ridurre la produzione, promuovendo la pratica del recupero. In seguito si susseguirono una serie di normative tra cui la 75/442/CEE relativa ai rifiuti, la 78/319/CEE rela-

tiva ai rifiuti tossici e nocivi e dalla 84/631/CEE relativa alla sorveglianza e ai controlli sui rifiuti pericolosi nelle spedizioni transfrontaliere. Sin dal 1973 gli obiettivi della politica ambientale europea vengono perseguiti attraverso una serie di programmi d'azione comunitaria (dal I al IV) che coprono un periodo che va fino al 1992, anno in cui il V programma prende l'avvio sulla base di una serie di principi contenuti nella comunicazione della Commissione Europea del 28 settembre 1989, ovvero:

1) prevenzione nella produzione di rifiuti mediante, da un lato, l'utilizzo di tecnologie pulite (finanziate economicamente dalla Commissione Europea) e dall'altro, la realizzazione di prodotti più rispettosi dell'ambiente, grazie all'introduzione di un sistema comunitario di certificazione ambientale;

2) promozione del riciclaggio e del riutilizzo, attuabile tramite attività di ricerca e sviluppo, miglioramento dei sistemi di raccolta e classificazione e riduzione dei costi di gestione e trasformazione;

3) ottimizzazione dell'eliminazione finale, attraverso l'adozione di ulteriori misure in materia di discariche di rifiuti e di incenerimento di rifiuti pericolosi;

4) trasporto di rifiuti;

5) azioni di ripristino, attraverso la bonifica dei siti contaminati e la ricerca di strumenti finanziari per riparare i danni provocati dai rifiuti lasciati nelle discariche abbandonate.

Inoltre, il V Programma Politico e d'Azione della Comunità Europea promuoveva la riduzione del volume e della tossicità dei rifiuti solidi, il riciclaggio o riutilizzo dei rifiuti e il trattamento chimico, fisico o biologico dei rifiuti in maniera ambientalmente adeguata. Il VI Programma di azione per l'ambiente intitolato "Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta", sulla base delle debolezze evidenziate da una relazione dell'Agenzia Europea per l'Ambiente, individua nel cambiamento climatico, nella natura e biodiversità, nell'ambiente e salute e nell'uso sostenibile delle risorse naturali e rifiuti gli ambiti su cui fondare la futura politica dell'UE. In generale questo programma d'azione contemplava una strategia generale di prevenzione, riduzione e riciclaggio dei rifiuti per gli anni successivi a cui faceva riferimento, prevedendo una riduzione della quantità di rifiuti destinati allo smaltimento finale del 20% circa, entro il 2010, e del 50% circa entro il 2050, rispetto ai valori del 2000, oltre che una riduzione del volume di rifiuti pericolosi del 20% circa entro il 2010 e del 50% circa entro il 2050. In termini di principio il VI programma si prefiggeva come obiettivo che:

- i rifiuti prodotti non fossero pericolosi o che presentassero al massimo rischi limitati per l'ambien-

te e per l'uomo;

- i rifiuti venissero possibilmente reimmessi sul mercato;

- si riducesse la quantità di rifiuti smaltiti e che se ciò dovesse avvenire, avvenisse in modo sicuro;

- il trattamento dei rifiuti fosse realizzato il più vicino possibile al sito di produzione.

In questo scenario di politica ambientale comune tra gli stati membri UE, si colloca la Direttiva 2006/12/CE del 5 aprile 2006 relativa ai rifiuti che definisce alcuni concetti base, come la nozione di rifiuto, recupero e smaltimento, e stabilisce gli obblighi essenziali per la gestione dei rifiuti, in particolare quello di autorizzazione e di registrazione per un ente o un'impresa che effettua le operazioni di gestione dei rifiuti. Sulla linea di questa direttiva viene emanata nel novembre del 2008 la direttiva in vigore ancor oggi 2008/98/CE, che per la prima volta sancisce la cosiddetta "gerarchia di gestione dei rifiuti". L'Unione Europea, al fine di disincentivare la crescita della produzione di rifiuti, propone un quadro giuridico volto al controllo dell'intero ciclo dei rifiuti, dalla produzione allo smaltimento. La Direttiva Europea 2008/98/CE è stata elaborata con l'obiettivo di proteggere l'ambiente e la salute umana attraverso la prevenzione degli effetti negativi della produzione e sbaglia-



Figura 3.1: Principio gerarchico dei rifiuti;
Fonte: <https://www.differenziamo.com/>;

ta gestione dei rifiuti. Tale Direttiva, recepita in Italia con il D. Lgs. 205/2010, classifica le modalità di gestione dei rifiuti nel seguente modo:

- Prevenzione
- Preparazione per il riutilizzo/Riuso
- Riciclo
- Recupero
- Smaltimento (discarica)

La Direttiva 2008/98/CE introduce l'obbligo, per gli stati membri, di elaborare programmi di prevenzione dei rifiuti incentrati sui principali impatti ambientali e basati sulla considerazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti; inoltre ogni stato membro deve predisporre delle regole in materia di autorizzazione e registrazione, monitoraggio e controllo, incenerimento o co-incenerimento. La Direttiva, oltre a definire le varie modalità di gestione dei rifiuti, propone una precisa gerarchia nelle modalità per il trattamento dei rifiuti privilegiando quelle di prevenzione e, nel tentativo di fornire un contributo al chiarimento degli scenari possibili, specifica e definisce una serie di termini utilizzati nell'attività di recupero di materia in campo edilizio: il concetto di rifiuto, di sottoprodotto, di materia e di prodotti secondari. Per il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla Direttiva 2008/98/CE, la Comunità Europea esprime una serie di principi:

- il principio della prevenzione, il quale già rien-

tra al primo posto della gerarchia di gestione dei rifiuti accompagnato anche dai principi di precauzione e sostenibilità, di fattibilità tecnica e praticabilità economica, di protezione delle risorse nonché degli impatti complessivi sociali, economici, sanitari e ambientali;

- il principio "chi inquina paga"(di cui all'art. 14 della Direttiva), il quale implica che i costi della gestione dei rifiuti siano sostenuti dal produttore iniziale o dai detentori del momento o dai detentori precedenti dei rifiuti. Questo articolo rettifica il concetto secondo il quale colui che introduce rifiuti nell'ambiente deve farsi carico dei relativi costi di gestione;

- il principio di autosufficienza e prossimità (di cui all'art. 16 della Direttiva), che riguarda le modalità di movimentazione e gestione dei rifiuti e sottintende l'invito a ricercare e trovare possibili sinergie tra operatori e territori;

- il principio della migliore opzione ambientale, per orientare verso l'ottimizzazione delle modalità di gestione che, come la direttiva afferma, possono essere di fattibilità tecnica, praticabilità economica e protezione dell'ambiente (ogni Stato può introdurre azioni mirate per migliorare le azioni e le politiche di settore a scopo di tutela e salvaguardia dell'ambiente);

- il principio della gestione senza rischi per

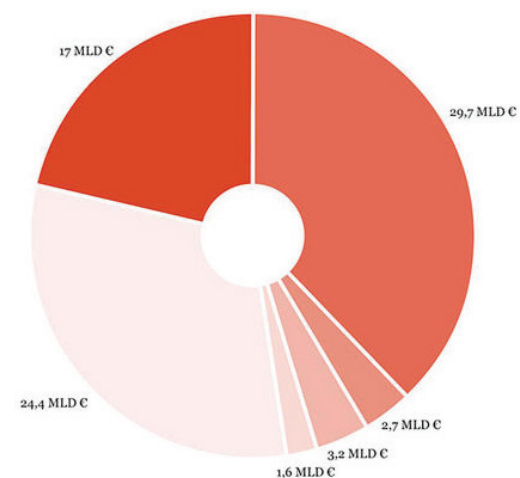
l'ambiente e per la salute umana, affinché siano evitati rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, la fauna e la flora senza causare inconvenienti da rumore od odori, senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse.

Nel 2014 la Comunità Europea ha avanzato una proposta di revisione dell'apparato legislativo attivo in quegli anni e della Direttiva 2008/98/CE per poter introdurre standard più elevati riguardo il contenimento dei rifiuti. Tale revisione è volta al miglioramento della gestione dei rifiuti attualmente prodotti in vista dei necessari tempi di adeguamento dei processi di produzione che, per alcune filiere, potrebbero risultare lunghi. In particolare, per il settore edilizio, si punta a fissare obiettivi chiari e condivisi tra i diversi Stati membri dell'UE in ottica circolare sui temi della gestione dei rifiuti, riciclo e riutilizzo di materia. I punti chiave della proposta riguardano l'innalzamento degli obiettivi di riciclo dei rifiuti urbani (65% entro il 2030), dei rifiuti da imballaggi (75% entro il 2030), la riduzione del conferimento in discarica del 10% entro il 2030, ed il divieto di discarica di rifiuti potenzialmente separabili e riciclabili. Infine è doveroso concludere questo breve excursus facendo riferimento al recente "EU Construction and demolition waste management protocol" stipulato dalla Commissione Europea nel 2016. Tale protocollo si concentra sul miglioramento della gestione dei rifiuti generati dalle attività di costruzione, riqualificazione e demolizione degli

edifici, allo scopo di superare le problematiche che limitano la diffusione dei prodotti secondari o riciclati per la diffidenza rispetto alla qualità degli stessi ed ai potenziali rischi per la salute connessi al loro trattamento, impiego ed esercizio. Si basa su 8 principi (note) e si concentra su 5 differenti ambiti: 1) l'identificazione dei rifiuti, la separazione e la raccolta alla fonte; 2) lo stoccaggio e la logistica; 3) il processo di trasformazione; 4) la gestione della qualità; 5) le politiche e le condizioni operative al contorno. Il Protocollo, per la sua stesura, ha visto il coinvolgimento e l'interesse di una serie di stakeholders provenienti da differenti settori: quello industriale, quello delle costruzioni, dell'artigianato, della gestione dei rifiuti, dei trasporti e delle Amministrazioni Pubbliche.

3.1.1 Normative in ottica circolare

Il passaggio verso un'economia circolare per un uso efficiente delle risorse è tra le priorità dell'agenda europea, stabilita nell'ambito della strategia europea "Horizon 2020, Programma Quadro europeo per la Ricerca e l'Innovazione". La Commissione Europea, infatti, in concomitanza con la prevista revisione della legislazione europea in materia di rifiuti, ha elaborato e intrapreso una serie di misure che si pongono come obiettivo, oltre alla riduzione dei rifiuti (come ampiamente specificato nel paragrafo precedente), la promozione verso un'economia di tipo circo-



- LEADERSHIP INDUSTRIALE**
17 MLD €
- SFIDE PER LA SOCIETÀ**
29,7 MLD €
- EUROPEAN INSTITUTE OF INNOVATION AND TECHNOLOGY**
2,7 MLD €
- ECCELLENZE SCIENTIFICHE**
24,4 MLD €
- EURATOM (2014-2018)**
1,6 MLD €
- ALTRO**
3,2 MLD €

Grafico 3.1: Budget programma Horizon 2020;
Fonte: <https://www.horizon2020.it/>;

lare. Queste indicazioni, contenute all'interno della Comunicazione COM 398 (2014) "Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti", sono state per la prima volta messe in luce e considerate dagli operatori dei settori interessati ma anche dalla società stessa. Secondo quanto indicato dalle misure, gli obiettivi principali riguardano: il miglioramento dei processi di produzione sia in termini di input, energia e risorse, sia in termini di output, rifiuti; la sostituzione delle risorse non rinnovabili e le materie prime naturali grazie all'utilizzo di scarti e sottoprodotti all'interno di processi produttivi; il recupero di prodotti all'interno dei processi di costruzione e demolizione. Oltre a ciò, si propongono misure armonizzate per il calcolo dei costi di riciclaggio, misure concrete di sostegno e promozione alle imprese che adottano accorgimenti in relazione alla riduzione di rifiuti e al reinserimento di materia seconda all'interno delle filiere produttive e incentivi economici ai prodotti cosiddetti "verdi" supportati dalla spiegazione delle procedure di riciclaggio dei prodotti stessi. Specificatamente al settore edilizio, la COM 445 (2014) final intitolata "Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia", orientata alla riduzione degli impatti ambientali e del consumo di risorse grazie anche al riciclaggio e al riutilizzo di materiali o interi manufatti, si esprime in tal modo:

- istituire un quadro strategico favorevole per un utilizzo efficiente delle risorse, analizzan-

do più a fondo quelle che sono le principali carenze del mercato e del sistema di governante che ostacolano la prevenzione dei rifiuti e il riutilizzo delle materie in essi contenute;

- promuovere una progettazione migliore dell'edificio che calibri l'uso delle risorse rispetto alle esigenze e alla funzionalità dell'edificio e che tenga conto degli scenari di demolizione selettiva;

- promuove la fabbricazione di prodotti da costruzione più efficienti sotto il profilo delle risorse, grazie, per esempio, al ricorso a materiali riciclati, al riutilizzo di materiali esistenti e all'uso dei rifiuti come combustibile;

- sbloccare gli investimenti nell'economia circolare;

- promuove una costruzione e una ristrutturazione più efficienti sotto il profilo delle risorse, in cui si riducono i rifiuti edili e si riciclano o riutilizzano i materiali e i prodotti in modo da smaltire in discarica meno rifiuti.

Il 2 Dicembre 2015 la Commissione Europea ha presentato il nuovo programma sull'economia circolare, composto dalla comunicazione COM 614 (2015) "L'anello mancante – Piano d'azione dell'Unione Europea per l'Economia circolare" identificando una serie di proposte legislative in revisione alle passate direttive sui rifiuti (2008/98/

CE), sugli imballaggi (1994/62/CE), sulle apparecchiature elettroniche (2012/19/EU) e infine sulle discariche (1999/31/CE). In particolare tale normativa promuove il riutilizzo e stimola la simbiosi industriale, trasformando il sottoprodotto di un settore, nella materia prima di un altro settore e inoltre prevede incentivi economici, affinché i produttori facciano giungere prodotti ecologici sul mercato, e un sostegno ai sistemi di recupero e riciclaggio. Infine nel 2017, con il voto dell'Europarlamento, è stato approvato a larga maggioranza il Pacchetto sull'Economia Circolare, il quale migliora considerevolmente la proposta fatta nel 2015 dalla Commissione Europea, in particolare per quanto riguarda i target di riciclaggio. Per quanto riguarda specificatamente al settore edile è doveroso accennare la già citata normativa "EU Construction and demolition waste management protocol" stipulata dalla Commissione Europea nel 2016: tale protocollo, oltre alle indicazioni riguardo al contenimento dei rifiuti e all'uso di prodotti riciclati, individua alcune buone pratiche da adottare in ottica circolare e il suo obiettivo è quello di promuovere la riduzione degli impatti ambientali del settore delle costruzioni, aumentare la richiesta di mercato di prodotti secondari o riciclati, promuovere nuove attività imprenditoriali di settore e migliorare i dati statistici poco precisi o addirittura assenti per alcuni Stati membri. Questo importantissimo protocollo rappresenta un forte incentivo in chiave di circolarità delle ri-

sorse e implica una conseguente progressiva revisione degli apparati e dei paradigmi in campo edile, da mettere in atto al più presto possibile.

3.2 La situazione italiana

Dopo aver riassunto brevemente il più avanzato punto di arrivo delle politiche in materia di gestione dei rifiuti, riduzione di consumo di materie prime, di applicazione di pratiche ambientalmente sostenibili quali il riuso o il riciclo a scala europea e di incentivi in ottica circolare, è ora necessaria una più accorta contestualizzazione della situazione italiana. Nel nostro Paese, la prima direttiva europea 75/442 CEE in materia di rifiuti viene recepita con il D.P.R. 915/82 secondo il quale per la prima volta per rifiuto si intende qualsiasi sostanza od oggetto derivante da attività umane o da cicli naturali, abbandonato o destinato all'abbandono. Successivamente il Decreto Ronchi introduce una sorta di prima gerarchia in base alla quale si dovrà operare per la prevenzione della produzione di rifiuti, per il recupero dei rifiuti, per lo smaltimento e in particolare per il riutilizzo, riciclaggio e recupero di materia prima. Inoltre il D.M. 5 nel febbraio 1998, relativo all'individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, lascia intravedere una serie di possibilità nel campo del recupero dei materiali edili residuali purché le attività, i procedimenti e i metodi di riciclaggio

e di recupero di materia permettessero di ottenere prodotti o materie prime o materie prime seconde aventi caratteristiche tecniche conformi alla normativa tecnica di settore. Tuttavia, la prima versione del DM del 5 febbraio nel 1998 favorisce il recupero energetico per la maggior parte dei rifiuti presi in esame, rappresentando un grande passo in avanti nel recupero dei materiali di scarto. Il successivo aggiornamento del DM del 2006, riguarda tutte le categorie di rifiuti non pericolosi e inserisce, affinché si possano attivare le procedure per il recupero semplificate, la necessità di specifica della tipologia di rifiuto, la provenienza, le caratteristiche fisiche e le relative attività di recupero e infine le caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti che fanno riferimento alle norme tecniche di settore. Queste prime normative in relazione al settore edilizio rappresentano un'opportunità notevole in relazione al potenziale reimpiego di materiali residuali che danno vita a prodotti con materiale riciclato. Nonostante ciò il processo avviato negli anni '90 non può in alcun modo ritenersi concluso, anzi è da considerare del tutto interrotto a causa della mancata attivazione del "Repertorio del Riciclaggio" oltre che dell'"Osservatorio Nazionale sui Rifiuti". Nel 2006 viene emanato il Dlgs 152 recante "Norme in materia ambientale" che, pur raggruppando l'insieme delle norme in materia ambientale in Italia, non introduce sostanziali modifiche alla legislazione precedente né in materia di definizioni e ulteriori

precisazioni. Questa breve sintesi ci permette di affermare che, sostanzialmente, negli anni 2000 gli strumenti legislativi appaiono più orientati a porre le basi per un più efficace controllo e tracciabilità del flusso dei rifiuti che ad incentivare possibili progressi nel campo del reimpiego o riciclo di materiali post consumo. In tal senso, bisognerà attendere il DDL 1676, noto come "Collegato ambientale alla Legge di Stabilità 2016", perché vengano rilanciati una serie di obiettivi in campo di sostenibilità e tutela ambientale che possano tornare a far ben sperare nella ripresa delle attività green oriented in relazione non solamente al settore edile privato ma anche a quello pubblico. La Legge promuove lo schema nazionale per la valutazione e la comunicazione dell'impronta ambientale e incentiva così la produzione industriale basata sul recupero e riutilizzo di materia, disincentivando la produzione dei rifiuti tramite la leva fiscale e aumentando gli oneri di conferimento in discarica per i comuni che non abbiano rispettato i limiti imposti dalla Comunità Europea. Infine, l'articolo 19 prevede l'applicazione dei criteri minimi negli appalti pubblici di lavori, ed in particolare in edilizia. Dopo una serie di revisioni nel 2016/2017 dei criteri minimi si arriva all'elaborazione di una serie di criteri sostanziali da adottare sia in fase progettuale che esecutiva. Nel particolare è interessante evidenziare come in fase progettuale sia necessario scegliere prodotti e materiali da costruzione che abbiano una quota parte di

materia riciclata oppure che siano dotati di una dichiarazione ambientale di II o III tipo. A esempio, l'edificio di nuova costruzione dovrà essere composto dal 50% in peso da componenti edilizi che a fine vita possano essere sottoposti a demolizione selettiva, quindi riciclabili o riutilizzabili. In relazione alle tematiche di sostenibilità ambientale e contenimento dei rifiuti, negli ultimi anni, molti sono stati i passi avanti messi in atto in Italia, soprattutto in ottica di una maggiore circolarità del processo edilizio nel tentativo di allinearsi agli altri più ambiziosi Stati membri del EU. Tali passi avanti sono avvenuti sia grazie all'evoluzione del quadro normativo nel settore edilizio, sia nei maggiori controlli che oggi si effettuano sui flussi di rifiuti prodotti ma soprattutto anche grazie al cambiamento che la società ha avuto nei confronti di queste tematiche. Se un tempo la popolazione, e più nello specifico i progettisti, non avevano interessi a contenere l'uso di risorse e attuare pratiche di recupero/riuso o riciclo dei materiali, oggi l'intera società è attenta e premurosa nei confronti dell'ambiente ed è priorità di tutti cercare di limitare gli sprechi di risorse e utilizzare materiali riciclati o recuperati e riciclabili a fine vita così da poter applicare un procedimento circolare. Inoltre l'Italia presenta "buone iniziative" lungo la filiera dell'industria del riciclo, dalla raccolta differenziata alla preparazione al riciclaggio e trattamenti di recupero, fino alla trasformazione delle materie prime seconde per la produzione di beni di consumo, che la collo-

ca al di poco sotto della Germania. Il rapporto annuale "L'Italia del Riciclo", realizzato da Fondazione per lo sviluppo sostenibile e Fise Unire mostra come negli ultimi anni le attività di riciclo nel nostro paese sono in continua crescita raggiungendo pressoché i numeri di livello europeo. Nonostante ciò, alla luce dei progressivi innalzamenti dei livelli avanzati dalle direttive europee, è necessario prima di tutto che tutte le Regioni italiane si impegnino in ugual modo per raggiungere gli obiettivi, e inoltre che le istituzioni, aiutate da un apparato normativo efficiente ed in costante aggiornamento rispetto alle direttive europee, vigilino e soprattutto incentivino i produttori e i progettisti a mettere in pratica nuove strategie verso un'economia circolare. Queste prime normative in relazione al settore edilizio rappresentano un'opportunità notevole in relazione al potenziale reimpiego di materiali residuali che danno vita a prodotti con materiale riciclato.

3.2.1 Normative in officina circolare

L'avvio di una transizione verso l'economia circolare in Italia rappresenta un input strategico di grande rilevanza: progettare i prodotti in modo tale da utilizzare ciò che adesso è destinato ad essere rifiuto come risorsa per un nuovo ciclo produttivo rappresenta una grande opportunità. L'Italia, inoltre, è un paese ricco di materie prime a basso costo, quali ad esempio ghiaia e sabbia per inerti, e per questo motivo molto sfruttate e consumate; per queste ragioni deve necessariamente muoversi in una visione europea di transizione verso un'economia circolare, sfruttare le opportunità e farsi promotrice di iniziative concrete. La creazione di un'economia circolare estesa su tutto il territorio nazionale consente di risolvere una serie di problematiche proprie del sistema produttivo nazionale, eliminando inefficienze e aumentando il numero di posti di lavoro. In primo luogo, è necessaria una maggiore informazione e trasparenza relativa all'uso di risorse, alla quantità di rifiuti riciclati e avviati in discarica per contribuire a ridurre i fenomeni di smaltimento illecito dei rifiuti generati sia in fase di produzione che di fine vita e per incentivare imprese virtuose verso pratiche circolari che risultano competitive sul mercato. Inoltre, utilizzare e riutilizzare materiale riciclato, generato internamente, permette di essere meno dipendenti dall'approvvigionamento estero (Ministero dell'Ambiente e della Tutela

del Territorio e del Mare in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico, 2017). Per quanto riguarda le normative sull'economia circolare nel contesto italiano è necessario fare riferimento al "Collegato Ambientale". Tale legge (n. 221 del 2015), entrata in vigore il 2 Febbraio del 2016, contiene disposizioni in materia di normativa ambientale per promuovere l'economia circolare e il contenimento dell'uso di risorse naturali: in particolare definisce le misure in materia di tutela della natura e sviluppo sostenibile, valutazioni ambientali, energia, acquisti verdi, gestione dei rifiuti e bonifiche, difesa del suolo e risorse idriche. Fortunatamente, negli ultimi anni, sono numerose le aziende al momento impegnate nel miglioramento delle performance ambientali dei propri processi di produzione oppure che entrano nel settore della gestione dei rifiuti alle differenti scale di processo, dalla raccolta alla trasformazione e commercializzazione di prodotti. Dai dati emersi dall'indagine "Opportunità di business e di innovazione dell'economia circolare e l'industria 4.0", condotta dal Dipartimento di Scienze economiche dell'Università di Padova insieme a Legambiente e presentata alla V edizione di Ecoforum, è emerso che l'investimento sul fronte economia circolare nel nostro Paese avviene in prevalenza grazie al capitale proprio per l'80% delle imprese, attraverso la collaborazione con fornitori di materiali (58%), con università e centri di ricerca (49%). Inoltre è emerso che le principali difficoltà riscontrate sono legate so-

prattutto ad una legislazione inadeguata o contraddittoria (49%). Secondo quanto dichiarato dal presidente di Legambiente Stefano Ciafani: "L'economia circolare nel nostro Paese è già una realtà in diversi territori grazie al lavoro svolto da istituzioni, società pubbliche e aziende private, ma per far decollare il settore occorre rimuovere alcuni ostacoli che ne rallentano la diffusione: la burocrazia asfissiante, l'inadeguatezza di alcuni enti pubblici, il mancato consenso sociale alla realizzazione di fondamentali impianti per il riciclo". (Stefano Ciafani, V edizione di Ecoforum, 2018) Tutto ciò premesso mette alla luce come, nonostante i notevoli ed evidenti passi avanti svolti verso lo sviluppo dell'economia circolare, il nostro Paese sia ancora frenato da vincoli legislativi e amministrativi che ostacolano l'avanzare di questa nuova economia. Risulta per cui necessario un orientamento strategico da parte dei decisori nazionali e comunitari verso una semplificazione e una chiarezza normativa.

3.2.2 Green Public Procurement (GPP) e i Criteri Ambientali Minimi (CAM)

In relazione all'apertura proposta negli ultimi anni nei confronti del tema dell'economia circolare delle Amministrazioni Pubbliche è emerso sempre più il concetto di Green Public Procurement (GPP), ovvero Acquisti Pubblici Verdi. Il GPP è nato come "uno strumento di politica am-

biennale volontario volto a favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale attraverso la leva della domanda pubblica. I prodotti "ambientalmente preferibili" sono, per esempio, quelli meno energivori, costituiti da materiale riciclato e/o privi di sostanze nocive, di facile riciclabilità e di maggior durata ovvero sono il risultato di processi produttivi meno impattanti." (Ministero dell'ambiente). Già a partire dagli anni '90, grazie al Libro Verde "Gli appalti pubblici nell'Unione Europea" del 1996, la Commissione europea ha mostrato sempre più interesse nei confronti dello strumento Green Public Procurement e dal 2003, è stato riconosciuto dalla Commissione Europea come lo strumento cardine della Politica Integrata dei Prodotti. Per quanto riguarda lo specifico contesto italiano, il nuovo Codice degli appalti D.lgs n. 50/2016, modificato dal D.lgs n. 56/2017, ha fortemente contribuito al diffondersi dei cosiddetti Acquisti Verdi nell'ambito della Pubblica Amministrazione e nell'articolo 34 del Decreto Legislativo sono stati definiti una serie di Criteri Ambientali Minimi (CAM). Tali criteri sono definibili come "i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato" (Ministero dell'ambiente). Lo scopo dei CAM è principalmente quello di ridurre gli impatti ambientali, in ottica di promozione dei modelli di produzione

e consumo più sostenibili, circolari e nel diffondere l'occupazione "verde". Ad oggi sono state definite 17 differenti categorie tra cui ad esempio l'arredo interno, l'arredo urbano, gli ausili per l'incontinenza l'edilizia, calzature da lavoro e accessori in pelle, carta, cartucce per stampanti, ecc. Per quanto riguarda il settore edile sono stati individuati dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. Nel particolare è interessante evidenziare come in fase progettuale sia necessario scegliere prodotti e materiali da costruzione che abbiano una quota parte di materia riciclata, che siano progettati per essere disassemblati, oppure che siano dotati di una dichiarazione ambientale di II o III tipo. A esempio, l'edificio di nuova costruzione dovrà essere composto dal 50% in peso da componenti edilizi che a fine vita possano essere sottoposti a demolizione selettiva, quindi riciclabili o riutilizzabili.

4 REIMPIEGO DELLA MATERIA NELLA STORIA

"Nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma."
(Lavoisier, 1789)

Questo breve capitolo è centrale e necessario per comprendere come la pratica del reimpiego della materia e di oggetti sia un'attività con origini molto antiche e di normale utilizzo fino all'avvento della Rivoluzione industriale, periodo durante il quale, le ritrovate possibilità economiche e lo sviluppo nel settore tecnologico e dei trasporti, non consentivano di far emergere la preoccupazione nei confronti della scarsità dei rifiuti e delle materie prime. Trattandosi di una metodologia impiegata principalmente per questioni di scarse economie, l'era industriale ha portato sempre più alla diminuzione della pratica del reimpiego e con essa la capacità di sfruttare la materia per le sue potenzialità residue dopo il primo utilizzo. Lo scopo di questa breve trattazione è quello di ripercorrere i tratti salienti degli sviluppi di tale metodologia nel corso della storia sia nel campo dell'architettura che dell'arte, fino alla sua decadenza e al successivo rinnovamento degli ultimi decenni: l'arte evidenzia una propensione al recupero

di oggetti della quotidianità a cui viene conferita una valenza estetica e sociale; gli architetti invece indagano le potenzialità costruttive, espressive e tecnologiche dei materiali residuali.

4.1 Il reimpiego in architettura

In campo architettonico il riuso di materiali e di oggetti è una pratica che ha origini molto antiche ed è comune in tutta la storia umana. Per poter comprendere appieno tale metodologia è opportuno distinguere due differenti accezioni del termine: la prima è rappresentata dalla pratica del riciclo, in cui ai rifiuti prodotti veniva conferita una nuova funzione; la seconda invece, definita come pratica dello spoglio, consisteva nel riutilizzo di materiale antico in costruzioni più recenti considerando l'edificio antico come una cava per la manutenzione o per la realizzazione di nuovi edifici in cui poter sottrarre materia, in pezzi o in parte. Le principali ragioni che contribuivano allo sviluppo di tali metodologie erano di natura economica e per la scarsa possibilità di reperire risorse vergini a causa dei pochi mezzi di trasporto e alla difficoltà nel percorrere gli spostamenti. Per quanto riguarda la pratica del riciclo ad esempio nelle città rurali, quando i rifiuti erano prevalentemente di natura organica, gli scarti provenienti dai consumi umani venivano in gran parte assimilati dall'attività agricola come concime e l'urina veniva usata come sgrassa-

tole grazie al suo contenuto di ammoniaca; i beni di consumo, invece, erano molto durevoli: la durata e il ciclo di utilizzo erano allungati dalla capacità di riparare e mantenere gli oggetti. Inoltre i romani furono i primi a creare il cosiddetto "coccio pesto", costruito da frammenti di tegole e anfore utilizzato per realizzare pavimenti e rivestimenti per pareti. D'altro canto, i primi a sperimentare la pratica dello spoglio sono gli Egizi, i quali per costruire la città Il Cairo prelevarono parte dei materiali esterni delle piramidi. Una particolare attenzione era data al reperimento di materiali in loco, ovvero disponibili in un raggio limitato in modo da evitare le problematiche legate ai trasporti. In Mesopotamia, ad esempio, molto spesso l'architettura in legno veniva sostituita da quella in pietra, per una minore disponibilità di legname. Differentemente, invece, le città marinare erano in grado di trasferire via mare carichi di preziosi oggetti da costruzione per i propri edifici provenienti dalla Grecia o dalla Spagna. L'epoca romana è stata un periodo di grande utilizzo della pratica dello spoglio tanto che i legislatori dovettero legiferare in proposito introducendo la legge secondo cui la demolizione era possibile solo previa autorizzazione del Senato e la ricostruzione era quasi sempre obbligatoria (ad esclusione delle rovine in cui la demolizione era sempre consentita). Altrettanta importanza era data all'Ornatus, ovvero all'apparato decorativo, inteso come elemento identificativo della città stessa, in cui vigeva il divieto di asportazio-



Figura 4.1: Nei soli due anni 1451-1452 si asportarono 2.522 carri di pietre dal Colosseo, per essere utilizzati nella costruzione di S. Pietro e delle mura della città; Fonte: Ada Gabucci, Milano 1999;



Figura 4.2: Terremoto di Messina 1908; Fonte: Giovanni Mongiò;

ne illecita di elementi di pregio quali colonne, tegole, porte, ecc se non per la costruzione di opere pubbliche. Per questa ragione, moltissimi sono gli esempi di edifici pubblici in epoca romana realizzati con materiali provenienti da edifici preesistenti. La pratica dello spoglio rendeva disponibili ingenti quantità di materiali provenienti dallo smontaggio d'interi costruzioni tanto da suggerire l'opportunità di predisporre grandi magazzini in cui depositare i materiali rinvenuti in attesa di un nuovo riutilizzo: il Colosseo, ad esempio, era considerato all'epoca uno tra i più grandi bacini a cui attingere per reperire del materiale da poter riutilizzare nelle nuove costruzioni. La pratica del reimpiego di materiali ha subito delle piccole variazioni in relazione al suo significato durante il corso dei secoli: nel periodo romano essa aveva un valore fortemente simbolico; dal V sec. d.C. invece lo spoglio assume un carattere di necessità, dovuto all'esigenza di recuperare materiale edilizio riducendo al minimo la spesa pubblica. In quest'epoca il materiale o l'oggetto reimpiegato perdeva totalmente la sua originaria funzione e veniva degradato a mero materiale da costruzione. Con l'architettura romanica si torna a considerare l'oggetto reimpiegato come un forte simbolo da contemplare e rispettare. Nel periodo gotico, invece, le spoglie perdono totalmente la loro identità e divengono irriconoscibili all'interno dell'edificio. Successivamente, nel Novecento, il riutilizzo di materiali provenienti da edifici demoliti divenne

una pratica molto comune: a seguito di catastrofi naturali o eventi bellici era frequente trovare a disposizione molti detriti e rovine da poter impiegare per colmare vuoti risultanti o realizzare nuove città. A causa del terremoto di Messina del 1908, la città nuova fu realizzata direttamente sopra le rovine della precedente, vista la vastità delle distruzioni causate e l'ingente quantità di detriti. Berlino, dopo la seconda guerra mondiale, realizzò differenti interventi di modifica della morfologia del territorio con le macerie belliche (tra cui la Teufelsberg, una collina per lo svago). Ovviamente, oltre alla pratica del reimpiego di materiali e oggetti provenienti da altri edifici, è necessario ricordare anche la pratica del reimpiego e della manutenzione dell'intero edificio prima di ricorrere alle nuove costruzioni. Tale attività si sviluppa molto nel corso della storia: essa consisteva nel recupero architettonico ed estetico dell'edificio esistente grazie anche all'inserimento di nuove funzioni al suo interno, quasi sempre differenti rispetto a quelle insediate in origine. Per rendere l'edificio esistente funzionale alle nuove attività, molto spesso si procedeva all'aggiunta di nuovi corpi, collegati con l'esistente, per dare più spazio alle nuove funzioni. Si ricordano in tal senso ad Efeso il nuovo Odéion che si somma al preesistente Bouleutérion per i settimi giochi adrianei nel 151 d. C.; le Terme di Diocleziano, nelle quali l'apparato decorativo dell'età flaviana viene accostato a nuovi elementi costruttivi. Infine, è giusto ricordare il Co-

dex Theodosianus nel 380 d. C. il quale sancisce che i due terzi delle opere edilizie dovessero riguardare interventi di manutenzione, ripristino e adeguamento degli edifici pubblici preesistenti. Con l'avvento della Rivoluzione Industriale, periodo storico in cui le materie prime erano considerate illimitate e il costo del conferimento in discarica di materiali e prodotti era del tutto irrilevante, la pratica del reimpiego e del riuso di edifici perde totalmente di significato e diviene sempre più comune la demolizione dell'esistente rispetto alla sua ricostruzione. D'altro canto, negli anni appena successivi alla rivoluzione, la questione del riuso dei materiali e componenti apre la strada a nuove possibilità: la Rivoluzione Industriale ha dato inizio all'incremento della quantità e soprattutto della varietà dei materiali utilizzati per la produzione e ciò ha consentito l'aumento sia delle nuove funzioni che assumevano gli oggetti recuperati sia delle tipologie di materiali recuperabili. Il riuso torna ad essere considerato un'opportunità, soprattutto di innovazione e lavorativa: in Francia alla fine dell'Ottocento, erano quasi 100.000 gli "chiffonniers", ovvero i rigattieri, su una popolazione di 36 milioni di abitanti. Con l'avvento del Novecento, la pratica del reimpiego torna ad assumere il suo significato originario, ovvero di necessità, non più solamente di tipo economico ma di salvaguardia verso l'ambiente a seguito del comprovato spreco e consumo di risorse naturali e della enorme quantità di rifiuti prodotti. Si possono distinguere

due atteggiamenti differenti nei confronti di tale pratica: il primo, definibile come "reimpiego", in cui i materiali recuperati sono privi o resi privi di ogni loro riconoscibile qualità formale; il secondo, definibile come "recupero", in cui si utilizzano singoli elementi formalmente ben individuati (mensole, cornici, infissi, ecc.). Tra i componenti della prima corrente è doveroso citare Antoni Gaudì: le sue opere contengono un intelligente e creativo riuso dei materiali quali ad esempio la Cancellata della tenuta Guell, in cui la figura del drago è il prodotto dell'assemblaggio di una serie di materiali provenienti dall'industria, e le ceramiche spezzate per la decorazione a mosaico dei noti camini di casa Batllò. Anche Dimitri Pikionis è un autore in grado di utilizzare la pratica del reimpiego con sapiente intelligenza e in armonia con l'opera e ciò è evidente soprattutto nella sistemazione dei sentieri di accesso all'Acropoli di Atene, dove utilizza materiali antichi archeologici in disuso e li inserisce all'interno di disegni che mescolano la memoria di un passato che si intende preservare.

Negli anni 60 si sviluppa, in particolare negli USA e in Gran Bretagna un movimento, antagonista della cultura consumistica, nato in seguito all'inquinamento industriale e alle relative conseguenze sull'uomo e sull'ambiente ed alle pratiche indiscriminate di sfruttamento del territorio il cosiddetto Garbage Housing. Grazie a questa pratica, risulta evidente la possibilità di impiegare come materiale edilizio i rifiuti, consentendo



Figura 4.3: Odéion di Efeso; Fonte: <https://www.egramma.it/>;



Figura 4.4: Cancellata della tenuta Guell; Fonte: <https://www.vivagaudi.org/>;

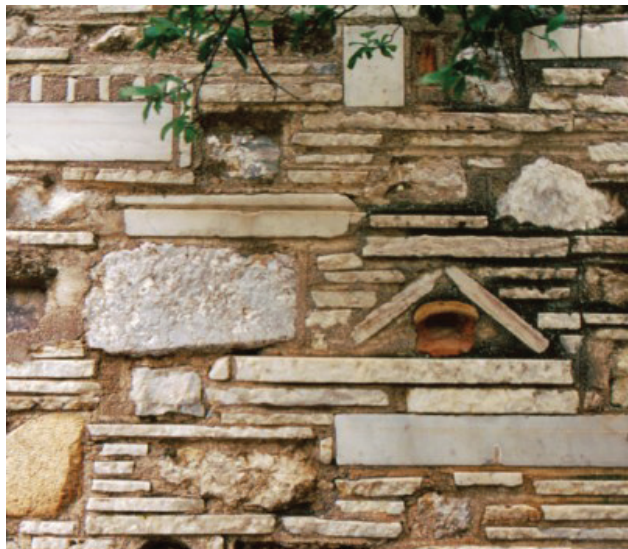


Figura 4.5: Accesso all'Acropoli di Atene;
Fonte: <https://www.divisare.com/>;



Figura 4.6: Thumb House, Michael Reynolds, 1972;
Fonte: https://www.my_architecture.com/;

in questo modo non solo di ridurre il loro numero nelle discariche, ma di ampliare anche la disponibilità di materiali da costruzione senza incidere ulteriormente sull'ambiente. Si sviluppa così una nuova consapevolezza nella possibilità di fare ricorso a sistemi costruttivi basati sul riuso di oggetti di produzione industriale e questa si traduce progressivamente in un ripensamento dei prodotti stessi finalizzato a posticiparne il fine vita e quindi il conferimento in discarica. Le prime sperimentazioni edilizie con i rifiuti sono state elaborate dall'Eartship Bioteecture di Michael Reynolds e dal Rensselaer Polytechnic Institute con il coordinamento di Martin Pawley. Michael Reynolds è considerato uno tra i padri dell'architettura ecosostenibile: la Thumb House è uno dei suoi primi progetti in cui utilizza bottiglie di birra, uno strato di malta e uno di intonaco overlay, dando origine al termine "Eartship Bioteecture", una forma di edilizia sostenibile fondata sull'autosufficienza energetica, attraverso l'inserimento di impianti per lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili come solare termico, fotovoltaico e dove possibile l'eolico, sulla climatizzazione solare passiva, sul recupero dell'acqua piovana, sul riuso di materiali di scarto locali (come pneumatici, bottiglie di vetro e di plastica), riducendo significativamente l'impatto dell'edificio sull'ambiente sia in fase di realizzazione che in fase di gestione. Un altro esempio di componenti progettati per essere riutilizzati è rappresentato dalla bottiglia di vetro della birra Heineken

dei primi anni '60, denominato WoBo: il prototipo era realizzato per poter essere reimpiegato come un mattone nella costruzione di murature autoportanti. Nonostante il progetto venga accantonato per ragioni di marketing, vengono comunque realizzati due prototipi d'abitazione. Nonostante questo lungo periodo di sperimentazione e innovazione nell'utilizzo di prodotti di scarto nei nuovi edifici, la pratica del riuso però non è riuscita a diffondersi e a consolidarsi anche soprattutto per le innovazioni di processo e di prodotto introdotte nel settore edile e a metà degli anni '80 i cosiddetti garbage architects iniziano a scomparire. Solo con l'avvento del nuovo millennio, con la crescita sempre più evidente delle problematiche e dei danni provocati al nostro Pianeta a seguito dei consumi smisurati di materie prime e della produzione di rifiuti, il riuso è tornato ad essere una pratica sperimentata e utilizzata da molti progettisti.

4.2 Il reimpiego nell'arte

In campo artistico invece, la pratica del reimpiego è di epoca piuttosto recente e si sviluppa a partire dal XX secolo inizialmente con la tecnica dei collages. Tale pratica consiste nel prelievo di materiali già esistenti nella realtà e nella loro collocazione all'interno dell'opera d'arte. Pablo Picasso e Georges Braque, per primi, utilizzano il collage per distaccarsi da quella che era la tipi-

ca modalità della pittura e della scultura: sulla tela compaiono materiali di varia natura quali carta da parati, a imitazione di marmo o legno, carta di spartiti, carte da gioco, etichette, che vengono uniti tra loro e sulla tela, donando volume e movimento alla tela stessa. Fare arte dunque non significa più solo saper usare le tecniche ma significa scegliere di usare dei materiali che rappresentano per se stessi un significato, per conferire importanza e contenuto a materiali poveri, addirittura di scarto. Così Picasso nella celebre tela ovale *Nature morte à la chaise carrée* del 1912, una tra le prime tele che apre la strada alla rivoluzione del collage, inserisce una corda da marina vera attorno al quadro a modo di cornice e un pezzo di tela cerata con l'impagliatura di vimini a rappresentare una sedia; o inserisce addirittura una farfalla, una foglia di taglio, pezzi di stoffa e fiammiferi per realizzare *Composition au papillon* (1932); Braque invece, nel disegno *Compotier et verre* (1912), inserisce tre pezzi di carta da parati con motivo ligneo. Nel collage futurista, influenzato dalla tecnica di Picasso, l'oggetto che non è ciò che sembra, riproduce le qualità visive proprie di un ben preciso materiale. La tecnica del collage viene rinnovata dal movimento dadaista tedesco che se ne serve per esprimere la pungente critica politica e sociale che lo caratterizza fin dalla nascita. E' doveroso ricordare Kurt Schwitters e l'arte Merz ovvero l'assemblaggio di frammenti e oggetti differenti tra loro, e la tecnica dell'as-

semblage con cui venivano amalgamati in una stessa opera materiali fino a quel momento totalmente estranei alla composizione artistica quali il bitume, l'intonaco, il fango, terra, sassolini, carta stagnola ed elementi botanici. Il Merzbau (1923-1936), l'opera più importante realizzata da Kurt Schwitters, era un vero e proprio ambiente che l'autore cominciò a costruire lentamente a partire dal 1923 presso la sua abitazione ad Hannover: era costituito da oggetti vari, quotidiani, materiali di scarto disposti ovunque, sulle pareti e sul soffitto, creando una sorta di "scomposizione" cubista. La costruzione dell'ambiente era iniziata dallo studio, intorno ad una scultura detta "Colonna della miseria erotica" con ritagli di giornale, manifesti, fotografie sottratti al flusso quotidiano delle merci. La struttura intorno alla scultura originaria poi si ingrandì, venne inserita in una sorta di struttura architettonica più grande organizzata in pareti di legno rivestite e si spostò infine coinvolgendo tutti i locali della casa. All'interno la sensazione prevalente era di confusione spaziale in quanto si trattava di più ambienti inseriti l'uno dentro l'altro: lo spazio infatti era suddiviso in grotte, ognuna con un tema diverso e con appesi oggetti che richiamavano concetti astratti. C'erano anche grotte dedicate agli amici dell'artista che all'interno del Merzbau diedero il loro contributo (Hans Arp, Hannah Höch...). Il Merzbau era il risultato di una vita di quotidianità, di incontri, di eventi; venne realizzato man mano ed era il caso a guidare per buona parte



Figura 4.7: *Nature morte à la chaise carrée*, Picasso, 1912;
Fonte: <https://www.arteworld.it/>;



Figura 4.8: *Merzbau*, Kurt Schwitters, (1923-1936);
Fonte: <https://www.moma.org/>;



Figura 4.9: *Bicycle Wheel*, Marcel Duchamp, 1913;
Fonte: <https://www.moma.org/>;



Figura 4.10: *Voltri-Bolton X*, David Smith, 1962;
Fonte: <https://www.moma.org/>;

la mano dell'artista. Questa imponente opera, tra l'altro, non arriverà mai ad una conclusione perché prima venne distrutta da una bomba durante la Seconda Guerra Mondiale nel 1943, poi ricostruita in Norvegia ma nuovamente incendiata nel 1951, infine riprodotta in Inghilterra ma incompleta in seguito alla morte dell'autore. Influenzato da queste tendenze Marcel Duchamp conia il concetto di "ready-made", che indica oggetti di uso comune non realizzati per finalità estetiche, scelti da un artista per creare un'opera d'arte senza alcun intervento su di esso. Si inizia a parlare per la prima volta di oggetto trovato: gli oggetti all'interno dell'opera non hanno più alcun riferimento con la loro funzione originaria (defunzionalizzazione). Tale termine fu utilizzato per la prima volta da Duchamp per la sua celebre opera d'arte *Bicycle Wheel* del 1913, in cui l'artista riusa una ruota di bicicletta imperniata su uno sgabello tramite le forcelle del telaio. In realtà il ready-made porta con sé un significato contraddittorio: da un lato, essendo realizzato con un oggetto industriale o comune, espone tutta la propria materialità fisica; dall'altro nega la manualità del fare artistico che si riduce a pura scelta intellettuale. A partire dagli anni '50 del Novecento si sviluppa la cosiddetta *junk sculpture*, dove per la prima volta i rifiuti divengono oggetti protagonisti all'interno dell'opera. Il termine *junk* ovvero spazzatura sta chiaramente ad indicare il ruolo dell'oggetto svalorizzato che viene riposizionato sotto

una nuova veste. Nel 1961 una mostra presso il Museum of Modern Art di New York dal titolo "The Art of Assemblage", curata da William Seitz e a cui presero parte artisti quali Duchamp, Braque, Picasso, confermò come l'arte dell'assemblaggio di cui abbiamo parlato finora avesse preso definitivamente piede nel mondo dell'arte; ulteriore conferma data anche dal successo di pubblico. Gli artisti, infatti, accorgendosi di vivere in contesti urbani colmi da rifiuti e materiali inutilizzabili, trovano spontaneo interessarsene ed impossessarsene per la loro attività artistica come fece David Smith, il quale creò sculture tramite l'utilizzo di scarti industriali o agricoli, dipinti di uno stesso colore in modo da sopprimere definitivamente la materialità dell'oggetto recuperato. Per analoghi motivi legati alla crescita economica e industriale delle società bisogna ricordare anche il New Dada, grazie al quale i rifiuti diventano materia ricorrente per la composizione artistica. Sempre in quegli anni viene coniato il termine *Popular Art* o *Pop Art* grazie a Reyner Banham e Leslie Fiedler il quale segna il passaggio verso il mondo creativo dei mass media: si verifica così una netta rivincita dell'elemento figurativo su quello astratto dando nuovo valore all'immissione dell'oggetto d'uso e del materiale di rifiuto nel contesto artistico in aperta polemica nei confronti dell'arte tradizionale, la quale secondo gli esponenti di queste tendenze, non era in grado di leggere i problemi legati alla società del tempo. L'arte povera è anch'essa in

polemica contro l'arte tradizionale della quale rifiuta tecniche e supporti per utilizzare invece materiali come terra, legno, foglie, ferro, stracci, plastica e altri materiali industriali. L'intento degli autori di arte povera è di evocare le strutture originarie del linguaggio della società contemporanea ormai corrotta da abitudini e conformismi deleteri: l'attenzione dell'arte povera è infatti spesso rivolta a materiali morbidi, plasmabili, fluidi che comportano una riproducibilità sempre diversa dell'opera d'arte. Così Pino Pascali ad esempio utilizza l'acqua raccolta direttamente dal fiume o dal mare e la riversa all'interno della galleria in cui espone *Confluenze* (1967), due letti di fiume artificiali riempiti di acqua colorata. L'utilizzo di materiali organici accanto a quelli inorganici è un elemento che dà a queste opere una valenza anche processuale in quanto sono opere che, create da materiali deperibili, vanno incontro a inevitabile decadimento e quindi loro stesse sono destinate a diventare dopo un certo periodo in un certo senso "rifiuti". Questo crea problemi di conservazione delle opere non indifferenti poiché l'opera è soggetta a continui mutamenti da gestire e avrà quindi bisogno di altrettanti rimaneggiamenti o restauri. L'arte povera si pone in una condizione di critica anche nei confronti della cosiddetta Pop Art: essa impiega materiali poveri contro l'esaltazione dei prodotti di consumo. Quello dell'arte povera è anche un tentativo di difendere l'arte europea dal dilagare di quella americana. Si intendeva rifiutare

l'omogeneizzazione e la standardizzazione americana: il miglior modo per farlo era contaminare gli stessi materiali rendendoli deperibili, molli, rovinandoli, trasformandoli e decomponendoli. Tra la fine degli anni Settanta e l'inizio degli Ottanta, dopo un periodo di ampia diffusione dell'utilizzo di oggetti e "rifiuti" nell'arte, si è tornati, soprattutto nel contesto italiano, ma anche negli USA, a valorizzare un'arte figurativa, rappresentata dalla corrente italiana detta Transavanguardia, termine coniato da Achille Bonito Oliva, che rientra nella più ampia area del Postmodernismo. Di nuovo gli artisti operano nel tentativo di rifiutare ciò che era avvenuto in precedenza e di conseguenza dopo tanti esperimenti extra-artistici tornano alla pittura. Tuttavia nascono nello stesso periodo anche alcune correnti che si discostano dalla sola pittura. Un esempio ci è dato dalla corrente Pattern and Decoration, un movimento che nasce negli Stati Uniti sul finire degli anni Settanta, prosegue per il successivo decennio ed è caratterizzato dalla ripetizione di motivi talvolta astratti o tratti dal mondo naturale o attinenti a diverse culture (bizantina, turca, giapponese, ecc.). Inoltre, nel corso di quegli anni, emerge sempre più la tendenza, da parte degli artisti, all'utilizzo di materiali di scarto nella creazione delle loro opere come aperta denuncia politica e sociale nei confronti di una società disattenta agli sprechi e ai consumi. Tra gli artisti si ricordano Tim Noble e Sue Webster, che con le loro opere giocano sull'ambiguità della



Figura 4.11: *Confluenze*, Pino Pascali, 1967;
Fonte: <https://www.artsy.net/>;



Figura 4.12: *Sculpture con i rifiuti*, im Noble e Sue Webster;
Fonte: <https://www.art-vibes.com/>;

nostra percezione delle immagini: gli ammassi informi di spazzatura che costituiscono le loro installazioni rivelano delle figure nascoste solo se opportunamente illuminati con dei proiettori. Essi utilizzano tutti i tipi di rifiuti, da pezzi di plastica a banconote da un dollaro o centesimi, dai sacchetti di plastica alle lattine di birra, dagli animali impagliati a pezzi di metalli vari. La caratteristica più evidente dell'arte degli anni più recenti è la varietà di mezzi utilizzati e nell'ambito dei rifiuti e del riciclo l'eterogeneità tra i vari artisti, ognuno con la propria caratteristica e peculiarità.

4.3 Conclusione

Inserire questo breve excursus storico riguardante le pratiche di reimpiego di materia in campo artistico e architettonico in questa parte dell'elaborato è di fondamentale importanza poiché ci permette di comprendere come le tematiche affrontate fino ad ora, nonostante sembrino di recente interesse, siano in realtà già state affrontate e in molti casi applicate dalla società di un tempo. Siano esse legate a questioni economiche e di necessità come per le prime civiltà mesopotamiche, di esigenza simbolica come durante il periodo romanico, di denuncia e con forte valore sociale per gli artisti avanguardisti o per attenzione e cura nei confronti dell'ambiente come evidenziato dalla società odierna, il tema del reimpiego, riuso e

recupero di materia è una costante in relazione allo sviluppo della società e per queste ragioni è necessario che venga indagato e studiato sempre più affinché i riscontri positivi sull'ambiente e sulla società siano riconoscibili a tutti.

5 VALUTAZIONE LCA A SUPPORTO DEL PROCESSO EDILIZIO CIRCOLARE

All'interno di questo capitolo si affronterà più nel dettaglio la tematica dell'applicazione del concetto di economia circolare al settore delle costruzioni, indagando le metodologie di analisi degli impatti generati, in ambito ambientale, economico e sociale dell'intero ciclo di vita dell'edificio. L'economia circolare applicata al contesto edilizio è, come già ben spiegato nei capitoli precedenti, un'economia sviluppata per "auto-rigenerarsi" e per "ricostruirsi", volta a minimizzare e tracciare l'uso di materie prime e ad eliminare la produzione di rifiuti e di sprechi trasformandoli in risorse. Nonostante la nozione di economia circolare non sia di così recente intuizione, l'applicazione al settore edilizio invece lo è e affinché tale metodologia risulti ef-

ficiente anche in questo settore è necessario, non solamente intervenire sui consumi e sull'efficienza delle risorse o sui crescenti tassi di riciclo o riutilizzo, ma soprattutto ampliare il raggio d'azione adottando un approccio che consideri l'intero ciclo di vita (Life Cycle Thinking). Troppo spesso, negli ultimi anni, si è puntato sulla sola fase d'uso, concentrandosi sull'efficienza energetica degli edifici (ad esempio edifici NZEB); ora è necessario spostare l'attenzione anche sul consumo di risorse materiche e quindi alle fasi di produzione dei materiali e di fine vita.

5.1 Il life cycle thinking

Il Life Cycle Thinking, inteso come approccio al ciclo di vita, propone di tener conto di tutti gli aspetti del ciclo di vita di un prodotto o servizio e quindi anche di un edificio, allo scopo di ridurre l'utilizzo di risorse e le emissioni in ambiente, migliorandone allo stesso tempo le performances a livello sociale ed economico.

Un approccio di LCT, infatti, cerca di pensare a tutte le diverse scale e agli ambiti coinvolti, collegando gli impatti sociali e ambientali al valore economico di un prodotto (costi economici). Applicare un approccio simile significa che per ogni prodotto si andranno a considerare l'insieme delle operazioni (progettazione, produzione, trasporto, utilizzo, dismissione e recupero/

smaltimento) e degli input e output materiali e immateriali connessi con la realizzazione di una o più funzioni ben definite. Un approccio del ciclo di vita pensato e ragionato può aiutare a fare delle scelte sui nostri acquisti e sul loro uso. Possiamo fare certamente qualcosa come singoli cittadini, con il sostegno delle imprese e dei governi, si possono mettere in atto ottime strategie di gestione creando un dialogo continuo tra produttori e consumatori.

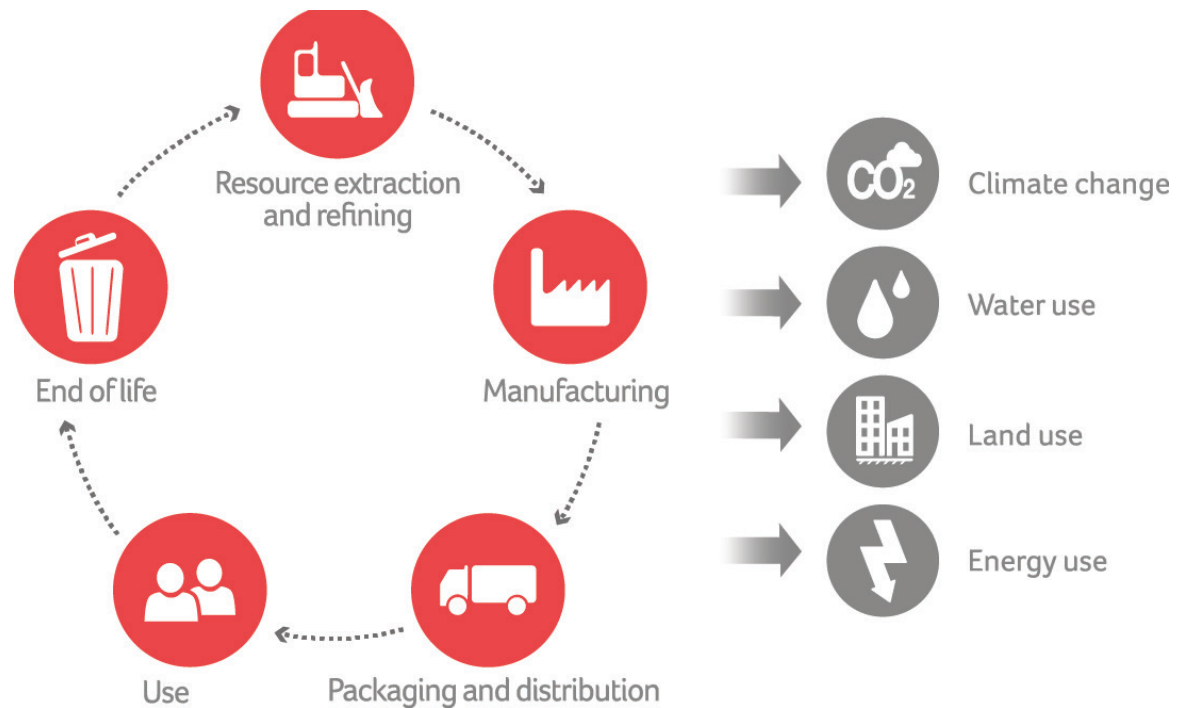


Figura 5.1: Approccio al Life Cycle Thinking; Fonte: <https://www.ecoinvent.org/>;

Un approccio del ciclo di vita consente ai progettisti di prodotti, ai fornitori di servizi, agli agenti del governo e agli individui di fare scelte per il lungo termine e con la considerazione di tutti i comparti ambientali (aria, acqua, terra). Nel settore delle costruzioni, per valutare la sostenibilità di prodotti edilizi, edifici, servizi e anche quartieri o città, tenendo in considerazione l'intero ciclo di vita sono stati definiti diversi metodi e strumenti operativi, fondati su una visione complessiva di tutti gli aspetti ambientali (LCA Life Cycle Assessment), economici (LCC Life Cycle Costing) e sociali (S-LCA Social Life Cycle Assessment o LCSA Life Cycle Sustainability Assessment). Inoltre, queste metodologie possono essere applicate e adeguate alle differenti scale, da quella del prodotto/materiale, all'edificio fino alla scala delle città o del territorio.

Il Life Cycle Thinking garantisce vantaggi notevoli su svariati fronti e nei confronti di soggetti differenti all'interno della società, a partire dai produttori stessi fino ad arrivare ai consumatori e alla governance locale. Per quanto riguarda le industrie, inserire la prospettiva del ciclo di vita nella gestione e nello sviluppo del prodotto in una direzione di sostenibilità, comporta benefici di natura ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di gestione della qualità e inoltre consente di migliorare l'immagine dell'azienda, aumentandone il valore sul mercato. I consumatori saranno orientati verso un consumo più sostenibile: grazie

ad una migliore informazione sull'acquisto, sui sistemi di trasporto, sulle fonti di energia, i consumatori saranno orientati verso una miglior scelta. Infine per i governi, le iniziative prese in questa direzione potrebbero servire a rafforzare il proprio settore industriale e dei servizi, nei mercati regionali e globali e garantire benefici ambientali per tutta la società. Impegnandosi in programmi ed iniziative di sostegno dell'attuazione di approcci ciclo di vita, volte anche alla prevenzione nei confronti dei modi eccessivi di consumo e di produzione dei rifiuti, i governi possono mostrare responsabilità globale e aumentare la propria governance, attraverso la condivisione e la diffusione di opzioni di sostenibilità a livello mondiale.

5.2 LCA – Life Cycle Assessment in edilizia

Il Life Cycle Assessment è ormai da molti anni una metodica utilizzata in ambito accademico e scientifico per stimare l'impatto ambientale degli edifici e per determinare la loro influenza sullo sviluppo sostenibile. Introdotta nel 1990 dal SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), la valutazione ambientale del ciclo di vita è un metodo di analisi sistematica che valuta gli impatti ambientali di un prodotto o di un edificio, di un processo o di un servizio durante tutto il suo ciclo di vita, attraverso la quantificazione dei flussi di materia ed energia in ingresso e in uscita nelle fasi di estra-

zione delle materie prime, trasporto, produzione, costruzione, uso e dismissione. Fare un'"assessment" significa fare una diagnosi, un disegno, raccogliere tutte le informazioni sul prodotto, sul suo impatto, migliorandone la comprensione degli impatti ambientali ed economici di un'azienda. L' LCA identifica i flussi di materiali, dell'energia e dei rifiuti di un prodotto durante il suo intero ciclo di vita, in modo che gli impatti ambientali possano essere determinati lungo tutte le varie fasi, a partire dall'estrazione delle materie prime fino agli scenari di fine vita. E' importante precisare che il metodo del Life Cycle Assessment può essere applicato a diverse scale, dalla produzione di un materiale, o di un prodotto, o di un servizio così come alla realizzazione di un edificio. In edilizia, il ciclo di vita di un edificio comprende l'approvvigionamento delle materie prime, i trasporti, i processi di lavorazione e produzione, la costruzione dell'edificio, la gestione dell'edificio, la dismissione, il conferimento in discarica o a una struttura di riciclaggio dei materiali. A differenza di altre tipologie di valutazione degli impatti ambientali più semplicistiche, delle quali faremo riferimento nei paragrafi successivi in quanto sono ancor oggi pratiche utilizzate nel settore edile, in cui vengono analizzate solo determinate fasi o indicatori, la valutazione LCA è in grado di definire un quadro molto più attendibile e completo riguardo agli impatti generati in ogni fase dell'edificio, così da comprendere quale sia quella peggiore a livello di impatti e

capire quali azioni intraprendere per migliorarla.

5.2.1 Normativa per l'applicazione dell'LCA in edilizia

Specificatamente al settore edile, gli standard normativi per la conduzione dell'analisi sono ormai consolidati: l'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO), attraverso la serie ISO 14040, ha fissato i principi, il quadro di riferimento per la valutazione del ciclo di vita e l'articolazione in quattro passaggi per lo sviluppo della procedura. Tali passaggi sono così riassumibili:

- 1) Definizione delle finalità e degli obiettivi del progetto, include la scelta degli strumenti, l'identificazione dei confini e dei limiti del progetto;
- 2) Life Cycle Inventory (LCI): realizzazione di un inventario in cui vengono descritte in modo accurato tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto e vengono quantificati i flussi in entrata e in uscita dai confini del sistema. L'inventario si classifica in: energia e consumo di risorse, consumo di materie prime, emissioni in aria, emissioni in acqua e rifiuti solidi.
- 3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA): studio dell'impatto ambientale attraverso l'analisi dei rilasci nell'ambiente e dei consumi di risorse calcolati nell'inventario;

4) Life Cycle Interpretation (LCI): interpretazione dei dati e proposta di cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o delle attività considerati. A livello europeo, il Comitato Europeo di Normazione (CEN), attraverso la Commissione Tecnica CEN TC350 (Sostenibilità delle opere di costruzione), con la EN 15643:2010 ha definito come valutare la sostenibilità degli edifici e con la EN 15978:2011 il metodo di calcolo per la valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici.

5.2.2 I confini del sistema

Per valutare l'effettiva applicabilità della metodica al più ampio scenario della circular economy è necessario indagare ed analizzare alcuni aspetti metodologici. In primo luogo è necessario definire i cosiddetti "system boundaries", ovvero i confini entro i quali descrivere l'analisi del ciclo di vita: la norma definisce tre perimetri entro cui si sviluppa un'analisi LCA tra cui "Cradle to Gate" (il quale considera tutti gli impatti ambientali legati alla produzione dei materiali da costruzione, dall'approvvigionamento delle materie prime fino al confezionamento del manufatto), "Cradle to Grave" (richiede di esaminare le prestazioni del prodotto in uso durante il ciclo di vita dell'edificio e quelle della fase End of Life) fino ad arrivare all'approccio in ottica circolare "Cradle to Cradle", il quale aggiunge alle precedenti analisi i potenziali benefici del riutilizzo e del riciclaggio. Originariamente infatti, l'LCA era stata concepita per quantificare i potenziali impatti ambientali di beni e servizi basati su un modello lineare stazionario, che traccia il flusso dall'approvvigionamento delle materie prime alla produzione dei rifiuti di fine ciclo ("Cradle to Grave"). Affinché la LCA permetta di includere nella valutazione anche la fase di demolizione, di rifunzionalizzazione, di recupero e riciclo dei materiali e dei componenti edilizi è necessario che l'attuale modello lineare venga sostituito da un modello di tipo circolare "Cradle to Cradle".

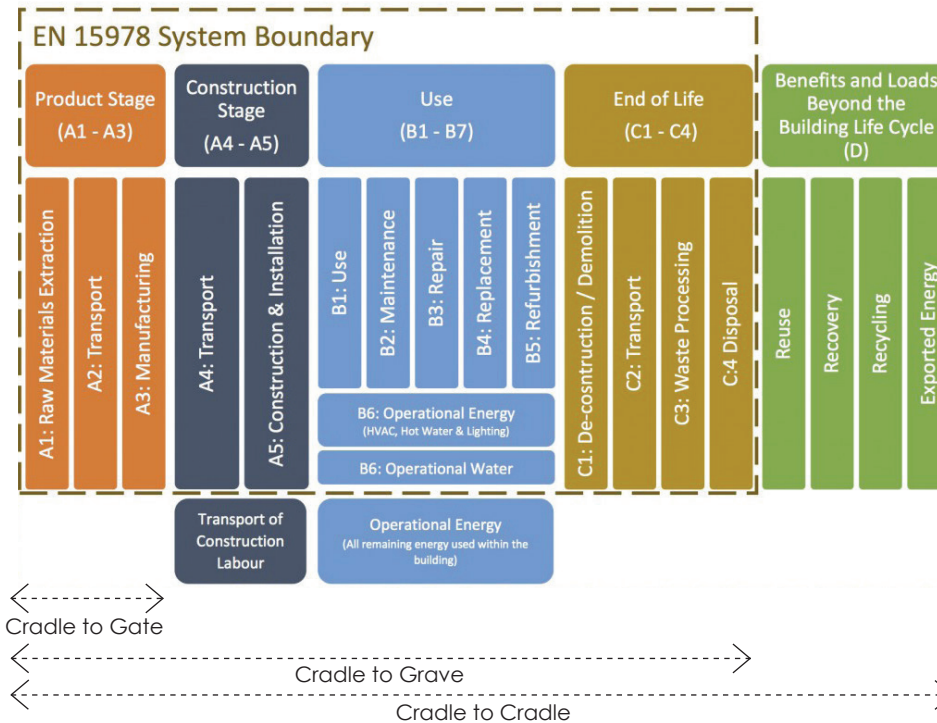


Tabella 5.1: I confini del sistema; Fonte: <https://www.etoolglobal.com/>;

5.2.3 L'applicazione LCA all'edificio

Alla scala dell'edificio, le variabili in gioco aumentano notevolmente e di conseguenza anche il livello di complessità. Anche in questo caso, così come per il singolo materiale, l'approccio LCA ha bisogno di confrontarsi con il più recente modello circolare "from cradle to cradle" (McDonough W, 2002), e per questo la stima di impatto ambientale complessiva non può semplicemente tradursi nella sommatoria di più analisi basate su approcci che descrivono dinamiche lineari, ma è necessaria un'integrazione tra le strategie per la realizzazione dell'edificio con gli obiettivi ambientali e di sostenibilità nelle politiche e nei piani di settore a favore di una circular and green economy (Antonello Monsù Scolaro, 2017). In particolare, per l'edificio, occorre prima di tutto definire la durata della vita utile dell'edificio stesso, in relazione anche alla funzione che dovrà svolgere, e del sistema impiantistico: da queste prime indicazioni dipendono infatti i cicli manutentivi e la quantità di energia complessiva derivante dall'uso dell'edificio. Dopodiché si definiscono i flussi ambientali in entrata e in uscita, suddivisi nei seguenti step (Altamura, 2015):

Fase di costruzione dell'edificio: la quale comprende l'analisi LCA di tutti i materiali e i componenti utilizzati nell'edificio stesso. La quantificazione dei materiali si ottiene mediante un computo metrico estimativo, associato poi ai flussi in en-

trata e in uscita relativi a: estrazione delle materie prime, produzione dei materiali edili, produzione vera e propria, trasporto in cantiere e messa in opera. A tali valori vanno sommati i flussi relativi ai processi dei macchinari da cantiere (gru, scavatori, ecc.), ai costi interni di costruzione e ai flussi relativi al sistema impiantistico.

Fase di fine vita dei materiali edili e degli impianti: in questa fase è necessario definire lo scenario di fine vita a minor impatto ambientale per ogni materiale e componente impiegato all'interno dell'organismo edilizio. Inoltre vengono definiti i costi relativi al trattamento di fine vita dell'edificio e del sistema impiantistico

Fase di gestione: individua l'insieme degli impatti relativi alle opere di manutenzione, ovvero identifica i cicli manutentivi idonei in relazione alla durata di vita utile dell'edificio. Per la gestione è necessario definire quali materiali e componenti dovranno essere sostituiti perché obsoleti o usurati ed i relativi flussi necessari alla nuova produzione, al trasporto in sito fino alla messa in opera.

Fase d'uso: rappresenta l'analisi dei consumi energetici ed idrici dell'edificio durante in suo utilizzo, ovvero: i consumi elettrici per l'illuminazione, l'energia primaria per la climatizzazione invernale, l'energia primaria per la climatizzazione estiva, l'energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria e i consumi d'acqua.

In conclusione si procede alla sommatoria di tutti gli impatti sopra indicati per giungere ad una valutazione LCA completa.

5.2.4 Criticità e opportunità

La valutazione LCA rappresenta uno strumento di grande supporto all'economia circolare nel settore edilizio, poiché permette di confrontare strategie diverse e scegliere le soluzioni più vantaggiose nei confronti dell'ambiente. E' uno strumento di supporto alle decisioni durante la fase della programmazione e progettazione dei prodotti edilizi e degli edifici, ed è inoltre lo strumento chiave per ottenere importanti certificati/etichettature ambientali riconosciuti a livello internazionale. D'altro canto ancor oggi l'applicazione di questa metodologia al settore dell'edilizia, soprattutto in Italia, risulta essere spesso di difficile impiego a causa della mancanza di una banca dati di riferimento per l'elaborazione di valutazione che sia contestualizzata rispetto alla realtà italiana e che contenga un numero significativo di prodotti edilizi: in questo modo diventa necessario fare riferimento a banche dati straniere con inevitabili problemi di approssimazioni dovute al trasferimento dei dati in un altro contesto. Inoltre la valutazione LCA è un'attività i cui risultati, espressi mediante indicatori ambientali di non immediata comprensione, risultano spesso

difficili da comunicare. Per queste ragioni è necessario attuare un primo sforzo volto all'armonizzazione delle banche dati di ambito LCA, oggetto peraltro di recenti attività di affinamento; il secondo sforzo è dato dalla volontà di uniformare i criteri e le procedure di verifica, per assicurare la comparabilità e una maggiore affidabilità dei risultati. E infine, lo sforzo forse più arduo da applicare è la volontà di andare oltre a quelle che sono le indicazioni previste dagli standards, includendo anche le iniziative facoltative e su base volontaria, le quali rappresentano gli input necessari a raggiungere livelli di sostenibilità ambientale, economica e sociale sempre più elevati. Da questo breve scenario è possibile comprendere come è evidente che, soprattutto negli ultimi anni, siano numerosi e notevoli le azioni messe in atto sia dalle istituzioni che dai produttori che dai consumatori per rendere sempre più l'approccio al ciclo di vita una pratica di uso comune. Esistono in tal senso negli ultimi anni metodologie nuove che sperimentano l'integrazione tra le tre sfere della sostenibilità (sociale, ambientale ed economica), portando così allo studio e all'applicazione di ulteriori strumenti basati sul ciclo di vita tra cui L'ECO efficiency e la LCSA, Life Cycle Sustainable Assessment.

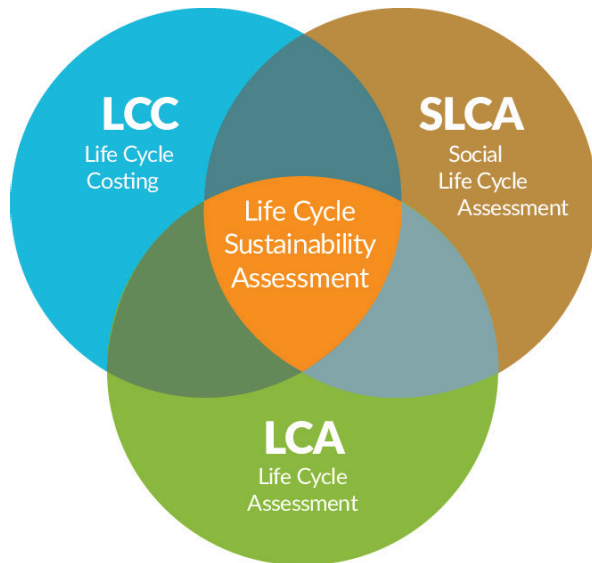


Figura 5.2: Il Life Cycle Sustainable Assessment;
Fonte: <https://www.researchgate.net/>;

6 GLI STRUMENTI DI INFORMAZIONE AMBIENTALE

6.1 Gli indicatori ambientali

La volontà di garantire ed assicurare determinate caratteristiche ai prodotti è una prerogativa non solo per i consumatori, i quali vogliono essere certi del prodotto che hanno comprato o che stanno utilizzando, ma anche e soprattutto dei progettisti, per ben orientarsi nelle scelte progettuali, delle aziende produttrici, che hanno bisogno di comunicare in modo efficace al mercato le proprie politiche ambientali e promuovere i prodotti ambientalmente innovativi, e infine delle amministrazioni pubbliche, che hanno bisogno di strumenti per il Green Public Procurement. Nella valutazione LCA, per analizzare gli impatti ambientali dell'intero ciclo di vita di un prodotto/edificio è necessario fare riferimento ad indicatori più specifici, tra cui i più utilizzati sono l'energia incorporata, embodied energy, e l'emissione di CO₂ incorporata nei materiali, embodied carbon. Esistono poi altre categorie di impatti ambientali, valutate sempre tramite LCA: eutrofizzazione, cambiamenti climatici, acidificazione, riduzione dello strato di ozono, smog fotochimico, inquinamento del suolo e delle falde acquifere.

6.1.1 Embodied Energy

L'energia incorporata, già definita come la misura dell'energia utilizzata nel ciclo di produzione dei materiali fino al loro utilizzo finale, viene calcolata come la quantità di energia non rinnovabile per unità di materiale edile, componente o sistema, ed è solitamente espressa in MJ/Kg o kWh/hg. Questo indicatore racchiude quindi le implicazioni ambientali per l'esaurimento delle risorse, per i gas serra emessi, per il degrado ambientale e la riduzione della biodiversità. Per quanto riguarda i confini del sistema, le banche dati assumono normalmente per il calcolo dell'energia incorporata i valori relativi alle fasi dalla culla "cradle" al cancello "gate"; per il calcolo invece relativo all'intero complesso edilizio, al valore così calcolato deve essere sommata anche l'energia spesa per il trasporto dal "cancello al cantiere", per la messa in opera e per gli interventi di manutenzione e sostituzione di materiali e componenti, riscontrabili durante il corso della vita utile dell'edificio. Tra i materiali che presentano un ridotto contenuto di energia incorporata si possono citare il legno, il calcestruzzo e i laterizi; tra quelli che presentano un contenuto intermedio si possono citare il vetro e le sue fibre, il legno lamellare, l'acciaio, e alcuni materiali plastici (PVC e PET); tra i materiali invece che presentano un alto contenuto di energia incorporata si ricordano le leghe di alluminio e alcuni materiali plastici (poliuretano).



Figura 6.1: Carbon footprint;
Fonte: <https://www.carbonfootprint.com/>;



Figura 6.2: Water footprint network;
Fonte: <https://www.waterfootprint.org/>;

6.1.2 Embodied Carbon

L'emissione di CO₂ incorporata nei materiali, già definita come la quantità di emissioni di CO₂ dovute all'estrazione delle materie prime, al trasporto, alla lavorazione, produzione ed altre attività connesse, viene calcolata come per l'embodied energy dalla culla "cradle" al cancello "gate". La principale fonte di emissioni di CO₂ in relazione al ciclo di vita dei materiali da costruzione è la combustione di fonti energetiche fossili durante il processo produttivo e l'embodied carbon può essere determinata solamente conoscendo la quantità e le fonti di energia consumata, ovvero dell'energia incorporata non rinnovabile. Questo indicatore risulta essere strettamente collegato a quello dell'impronta climatica, ovvero la Carbon Footprint.

6.1.3 Carbon footprint e Water footprint

L'indicatore dell'impronta climatica Carbon Footprint, a differenza dell'indicatore Embodied Carbon, può essere utilizzato anche per valutare l'energia incorporata dall'edificio durante la fase d'uso, ovvero operativa. Questo indicatore misura quindi l'impatto delle attività umane sul clima globale ed esprime quantitativamente gli effetti prodotti da parte dei cosiddetti gas serra in termini di anidride carbonica equivalente (CO₂eq). La Carbon footprint viene calcolata

mediante uno studio LCA, evidenziando solo le emissioni e rimozioni totali di gas clima-alteranti nell'arco dell'intera vita di un prodotto o servizio, ovvero nelle fasi di pre-produzione, produzione fuori opera, trasporto in cantiere, produzione in opera, uso, gestione e manutenzione e fine vita dei materiali edili (Altamura, 2015). Nonostante ciò, questo indicatore non fornisce una valutazione dell'intero impatto ambientale del prodotto in esame, in quanto altri impatti (come l'acidificazione, l'eutrofizzazione, ecc.) non vengono quantificati: un livello contenuto di Carbon footprint indica dunque un basso contributo del prodotto in esame nei confronti dei cambiamenti climatici. Collegato a questo indicatore è doveroso citare anche la cosiddetta Water Footprint, la quale valuta l'impronta idrica che un prodotto o un'organizzazione ha sull'ambiente; essa è definita come il volume totale di acqua dolce utilizzato per la produrre beni e servizi, misurata in termini di volume d'acqua consumata e inquinata per unità di tempo. Il quantitativo globale dell'impronta idrica è dato dalla somma di tre componenti:

- Acqua blu: si riferisce al prelievo di acque superficiali e sotterranee destinate ad un utilizzo per scopi agricoli, domestici e industriali.
- Acqua verde: indica il volume di acqua piovana che non contribuisce al ruscellamento superficiale ma all'acqua evapo-traspirata per un utilizzo agricolo
- Acqua grigia: indica il volume di ac-

qua inquinata, quantificata come il volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti al punto che la qualità delle acque torni sopra gli standard di qualità.

6.2 Le dichiarazioni e le etichettature ambientali

Le valutazioni LCA sui materiali e i prodotti vengono tradotte in dichiarazioni ed etichettature ambientali, volte a certificare e garantire determinate caratteristiche ambientali. Tali dichiarazioni sono realizzate tutte su base volontaria dai produttori e da soggetti di parte terza al fine di assicurare una più immediata comprensione delle prestazioni ambientali dei prodotti da parte dei consumatori, e in particolar modo nel settore edile dei progettisti: l'Unione Europea punta sulla diffusione di etichette ecologiche e di politiche ambientali su base volontaria, poiché, rispetto ad una politica "command and control" che tende a limitare i danni ambientali laddove si presentavano senza incentivare coloro che prevengono gli impatti ambientali, stimolano meccanismi di concorrenzialità tra le aziende e i produttori, promuovendo un atteggiamento preventivo rispetto alle azioni a posteriori del "chi inquina paga". La dichiarazione ambientale di prodotto è dunque uno strumento di tipo politico-ambientale che ha lo scopo di, oltre comunicare al mercato le caratteristiche e le prestazioni ambientali di un prodotto, dimostrare

l'attenzione dei produttori verso le tematiche di sostenibilità ambientale e comunicare al consumatore informazioni precise, affidabili e soprattutto comparabili. La norma ISO 14020 stabilisce le linee guida e i principi per lo sviluppo e l'applicazione di etichette e dichiarazioni ambientali volontarie definendo tre differenti tipologie:

Etichette ambientali di tipo I (ISO 14024), basate su una serie di criteri ambientali individuati come rilevanti da un organismo indipendente competente per l'assegnazione del marchio, che si occupa anche della verifica e del rilascio della certificazione. Consiste in un marchio rilasciato solo ai prodotti che superano certi requisiti minimi (valori soglia). Tra le etichette di tipo I troviamo:

- *Ecolabel*, marchio europeo di qualità ecologica ed adesione volontaria che premia i prodotti e i servizi a basso impatto ambientale, che a parità di standard prestazionali, si differenziano dai prodotti tradizionali presenti sul mercato. Tale etichettatura, creata dalla Commissione dell'Unione Europea nel 1992 (con Regolamento CEE n. 880 del 1992, prima sostituito dal Regolamento CE n.1980 del 2000 ed oggi dal Regolamento CE n. 66 del 2010, entrato in vigore dal 19 febbraio 2010) si basa su un sistema multicriteria che considera l'intero ciclo di vita del prodotto. I prodotti vengono valutati in termini di consumo di energia, inquinamento delle acque e dell'aria, protezione del suolo, risparmio di



Figura 6.3: Marchio Ecolabel; Fonte: Ispra;



Figura 6.4: Marchio Blaue Engel; Fonte: <https://www.blaueengel.de/>;



Figura 6.5: Marchio EPD; Fonte: Ispra;



Figura 6.6: Certificazione Cradle to Cradle; Fonte: Ispra;

risorse naturali, produzione di rifiuti. Inoltre, l'approccio circolare risulta essere parte integrante dei rigorosi criteri di prodotto che caratterizzano questo marchio: l'etichetta premia infatti i prodotti innovativi che, tra le altre caratteristiche, sono durevoli, riparabili, a basso contenuto di carbonio, con imballaggi limitati e, in generale, con un maggior contenuto di materiale riciclato;

- *Nordic Swan* (Svezia, Norvegia, Finlandia e Islanda), marchio multinazionale creato nel 1989;

- *Blaue Engel* (Germania), creato nel 1977, uno tra i primi marchi ambientali;

- *Nature Plus*, marchio internazionale nato in Germania, attivo dal 2001;

- *Marchio FSC*, Forest Stewardship Council

- *Marchio di prodotto bioecologico ANAB-ICEA* (Italia), standard italiano per la valutazione della sostenibilità di prodotti per l'edilizia grazie all'approccio LCA

Etichette ambientali di tipo II (ISO 14021), che sono informazioni ambientali basate su auto-dichiarazioni del produttore, in cui non è previsto un organo di certificazione indipendente, né una soglia minima di accettabilità. Tra queste tipologie di etichettatura si ricordano:

- *Punto verde*, (Der Grüne Punkt), marchio dell'industria tedesca che rappresenta l'adesione ad una organizzazione nazionale di recupero e riciclo facente parte del sistema organizzato. L'utilizzo del simbolo/marchio è subordinato all'ottenimento di una licenza d'uso che viene concessa con il pagamento dei relativi diritti;

- *Marchio internazionale per i materiali riciclabili*, il quale indica la presenza e il quantitativo di materiale riciclato presente all'interno di un prodotto;

- *Marchio internazionale per i materiali compostabili*;

- *Pannello ecologico*, è un pannello unico al mondo destinato al settore arredamento realizzato al 100% con legno post-consumo.

Etichette ambientali di tipo III, le quali forniscono indicazioni quantitative sul profilo ambientale di un prodotto calcolato secondo le procedure LCA; in questo caso non è previsto il raggiungimento di requisiti minimi ma è necessaria l'approvazione da parte di un organo di certificazione indipendente. Tra le etichette di tipo III si ricorda l'EPD, Environmental Product Declaration, ovvero la Dichiarazione Ambientale di Prodotto, che contiene dati tecnici quantitativi relativi ai potenziali impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto.

6.2.1 EPD, Environmental Product Declaration

Fondata sull'utilizzo della metodologia LCA, l'EPD è un'etichettatura di tipo volontario e rappresenta lo strumento più univoco ed efficace per la comunicazione e la diffusione di informazioni ambientali certificate riguardo alla sostenibilità dei prodotti. La creazione di una dichiarazione EPD di prodotto passa attraverso la redazione dei seguenti documenti:

- Redazione di un bilancio energetico - ambientale del prodotto/servizio applicando lo strumento LCA (Life Cycle Assessment);
- Creazione di un sistema gestionale per il controllo delle prestazioni ambientali;
- Redazione della Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD), ossia del documento che permette di comunicare le prestazioni ambientali del prodotto alle parti interessate;

L'ultimo passaggio è caratterizzato dalla valutazione da parte di un ente terzo accreditato per il rilascio della dichiarazione ambientale.

6.2.2 Certificazione C2C

La certificazione Cradle to Cradle, sviluppata e ideata grazie all'apporto che l'architet-

to americano William McDonough e il chimico tedesco Michael Braungart hanno sviluppato all'interno del loro scritto "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things", rappresenta il più completo modello di certificazione in rapporto al concetto di economia circolare. Ciò che sta alla base di questa metodologia è l'eliminazione stessa del concetto di rifiuto sin dal momento della progettazione di un prodotto: l'oggetto viene dunque ideato per non avere mai fine ed essere o reintrodotta nel ciclo produttivo come materia prima o reintegrato perfettamente nel ciclo naturale. Tra i principi che questa certificazione propone si citano:

1. Sicurezza dei materiali: tutti i materiali presenti nell'oggetto devono essere riportati sull'etichetta, se presenti con concentrazione > 100ppm. La pericolosità dei materiali è valutata su una scala da verde (sicuro - poco pericoloso) a rosso (pericoloso) in relazione all'uomo e all'ambiente. Uomo ed ambiente presentano a loro volta diverse sotto-categorie.

2. Riutilizzo dei materiali: analizza la capacità di riutilizzo/riciclo dei materiali utilizzati a fine vita, per essere reintrodotti nei cicli biologico o tecnico.

3. Energia utilizzata in produzione: Al livello più alto deve essere fornita al 50% da fonti rinnovabili.

BREEAM[®]

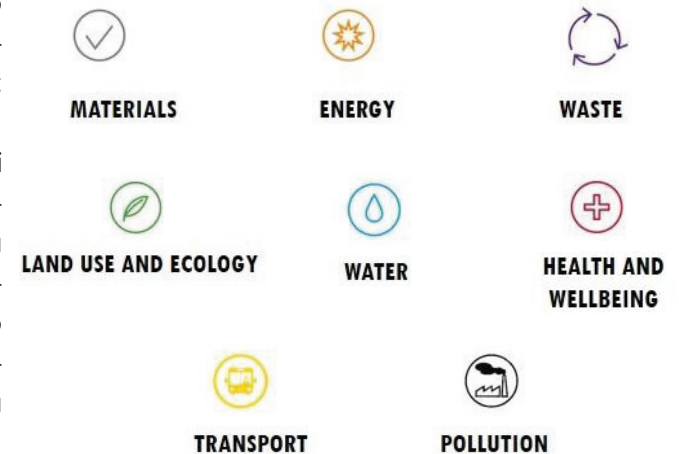


Figura 6.7: Certificazione Bream; Fonte: <https://www.breeam.com/>;

4. Uso e qualità dell'acqua: Si analizza il flusso d'acqua usato in produzione, con particolare attenzione alla sua qualità nel momento in cui viene reimpressa nella rete idrica o scaricata nell'ambiente.

5. Responsabilità sociale: che certifica condizioni di lavoro corrette.

6.3 Le certificazioni ambientali degli edifici

Oltre alle certificazioni ambientali ed etichette ecologiche di prodotti, esistono tipologie di certificazione ambientale che riguardano l'intero edificio, le quali oltre ad individuare una serie di criteri legati alle caratteristiche del manufatto architettonico prendono in esame anche le interazioni che questo ha nei confronti del territorio, dei servizi e della società che lo circonda. Le ricerche sviluppatosi sulla certificazione ambientale in edilizia sono rimaste ancor oggi divise nella messa a punto dei protocolli di valutazione tra i sostenitori di una metodologia qualitativa a punteggio, basata su requisiti specifici schematizzati a priori ai quali viene attribuito un punteggio e un peso, e quelli che ritengono che il metodo più rigoroso sia una valutazione quantitativa degli impatti realizzato computando i valori ottenibili dall'applicazione di una metodologia di analisi del ciclo di vita (LCA) all'intero edificio. In questo breve paragrafo ci occuperemo dei protocolli a

punteggio, in quanto la metodologia LCA è già stata ampiamente trattata precedentemente. Per dare una definizione, la certificazione edilizia ambientale è quel processo che permette di valutare globalmente l'impatto di una costruzione sull'ambiente naturale ed antropico al di là della mera certificazione energetica e prendendo in esame tutte le fasi di vita del manufatto edilizio, dalla costruzione alla fruizione, all'eventuale dismissione o riconversione. A livello mondiale sono stati per ora adottati solo protocolli su base volontaria essenzialmente riferiti al sistema di valutazione a punteggio quali l'anglosassone BREEAM e lo statunitense LEED. In Italia, il quadro della certificazione ambientale è stato fino ad ora piuttosto disomogeneo ma dagli anni 2000, a livello pubblico nazionali e regionali, si utilizza il protocollo ITACA, mentre a livello privato si utilizza il protocollo LEED Italia. Rispetto alla certificazione energetica che è obbligatoria, queste certificazioni sono tutte su base volontaria, così come le certificazioni di prodotto, ma rappresentano comunque un buon incentivo verso una progettazione sostenibile: essa fornisce ai progettisti uno strumento per aumentare e certificare la validità del progetto; ai proprietari degli immobili, uno strumento che garantisce l'innalzamento del valore, la riduzione dell'inquinamento e il risparmio energetico e di risorse, e agli enti pubblici una base oggettiva di azione per la pianificazione di trasformazioni edilizie e territoriali. Ad oggi solamente la Regione Friuli Venezia Giulia

ha reso obbligatoria la certificazione ambientale degli edifici negli stessi casi in cui occorre redigere la certificazione energetica, ma essa è comunque obbligatoria nella maggior parte delle regioni quando si vuole partecipare a bandi di finanziamento, accedere a bonus volumetrici per il piano casa o realizzare nuovi edifici pubblici.

6.3.1 Protocollo Itaca

Il Protocollo ITACA rappresenta un sistema nazionale di certificazione della sostenibilità ambientale ed è basato sulla metodologia SBMethod, sviluppata dall'International Initiative for a Sustainable Build Environment. Tale protocollo è applicabile all'edilizia di nuova costruzione e alle ristrutturazioni negli ambiti del residenziale, terziario ad uffici, commerciale, industriale e scolastico. In particolare fornisce schede esemplificative che racchiudono i criteri di valutazione e contengono le indicazioni sui metodi di verifica dei risultati e le strategie progettuali migliori da adottare al fine del raggiungimento di un punteggio elevato. La certificazione dell'edificio si basa sull'individuazione di differenti e svariate indicazioni a livello ambientale e le aree di valutazione sono essenzialmente cinque:

- qualità del sito,
- consumo di risorse,
- carichi ambientali,
- qualità dell'ambiente indoor

- qualità del servizio.

Nell'area di valutazione B "Consumo di Risorse" sono presenti cinque crediti per la categoria B.4 "Materiali eco-compatibili" che riguardano: il riutilizzo di strutture esistenti, i materiali riciclati/recuperati, i materiali da fonti rinnovabili, i materiali locali per finiture e i materiali riciclabili e smontabili. Il tema della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione rimane ancora una questione poco trattata. Oltre all'area Consumo di Risorse è importante considerare anche l'area C "Carichi ambientali", la quale valuta la riduzione della quantità di emissioni di CO2 equivalente impiegata per l'estrazione, la produzione e il trasporto di materiali e componenti di un edificio. Nonostante dunque l'impegno di questa certificazione nel considerare ancor più compiutamente l'impatto di materiali e componenti durante tutto il loro ciclo di vita, è ancora evidente la necessità di introdurre ulteriori criteri per una più completa e corretta analisi degli impatti ambientali dell'intero edificio lungo l'intero ciclo di vita.

6.3.2 LEED Italia

Il sistema di valutazione LEED Italia rappresenta la traduzione specifica per l'Italia del sistema di certificazione sviluppato da GBC (Green Building Challenge) America. Il Protocollo è applicabile a differenti tipologie edilizie: uffici,



Figura 6.8: Marchio Protocollo Itaca; Fonte: <https://www.itaca.org/>;



**Green
Building
Council
Italia**

Figura 6.9: Marchio Leed Italia; Fonte: <https://www.gbcsitalia.org/>;

negozi, edifici istituzionali e scolastici, strutture ricettive ed edifici residenziali di almeno quattro piani abitabili. Questo sistema è strutturato in cinque aree di valutazione principali, più due che garantiscono crediti supplementari, e sono:

- Sostenibilità del sito
- Gestione delle acque
- Energia ed atmosfera
- Materiali e risorse
- Qualità ambientale interna
- Innovazione nella progettazione (criterio supplementare)
- Priorità regionale (criterio supplementare)

Nell'area "Materiali e risorse" sono presenti sei crediti tra cui: Gestione dei rifiuti da C&D, Riutilizzo di materiali, Contenuto di riciclato, Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata e infine Materiali rapidamente rinnovabili. A differenza del Protocollo ITACA, nel protocollo LEED Italia vengono attribuiti separatamente crediti nell'ambito della categoria "Riutilizzo di materiali" e "Contenuto di riciclato" e inoltre viene individuata una categoria specifica per la gestione dei rifiuti da C&D. Il peso dell'area relativa all'impatto di materiali e risorse sul totale delle cinque aree di valutazione è di circa il 15%.

7 APPLICAZIONE DELL'ECONOMIA CIRCOLARE IN EDILIZIA

Il complesso quadro emerso in questa prima parte dell'elaborato rappresenta una dovuta premessa per la comprensione dell'urgenza con la quale si impone oggi la necessità di mettere in atto un nuovo modello di economia a ciclo chiuso, circolare. Come già ben definita in precedenza, l'economia circolare sappiamo essere identificabile come un'economia industriale concettualmente rigenerativa che mira a consentire flussi efficaci di materiali, energia, lavoro e informazioni in modo che il capitale naturale e sociale possa essere ricostruito. E' quindi un'economia, in alternativa al modello lineare, che punta a contenere e ridurre l'utilizzo di materie prime ed energia incorporata dei materiali. Non esiste più il concetto di rifiuto in quanto anche ad esso dev'essere riconosciuto un valore e dev'essere considerato risorsa da poter re-immettere nei cicli produttivi successivi. Come si può notare, tale definizione è di tipo generico, ovvero è adattabile a molti settori differenti, dalla produzione industriale, al commercio fino all'edilizia. In relazione al settore edile in realtà risulta ancora complicato riuscire ad immaginare un edificio abbandonato o dismesso come

possibile fonte di risorse, nonostante negli ultimi anni la tendenza verso un “progettare circolare” si stia sempre più diffondendo. In questo capitolo, cercheremo dunque di indicare e definire in modo chiaro i differenti scenari di intervento e i principi progettuali applicabili al settore dell'economia circolare in campo edilizio, trattando la tematica sia alla scala dell'edificio sia alla scala del materiale o del componente edilizio.

7.1 Scenari d'intervento

L'applicazione dell'economia circolare al settore edile, come anticipato nell'introduzione al capitolo, permette un duplice livello d'interpretazione. Il primo, alla scala dell'edificio, consente di valutare la possibilità di riadattare, rifunzionalizzare e riutilizzare un edificio abbandonato o dismesso, così come progettare un nuovo edificio in ottica circolare; il secondo, alla scala del materiale o del componente edilizio, consente di poter recuperare, riusare o riciclare componenti ormai divenuti rifiuti provenienti sia dal settore edile che da altri (industriale, ecc.), riducendo così l'utilizzo di nuove materie prime e l'accumulo di rifiuti. Affinché un edificio venga gestito in ottica circolare è necessaria quindi un'interazione tra le strategie alla scala dell'edificio e le strategie alla scala del materiale. Per queste ragioni l'applicazione della circolarità in edilizia dev'essere affrontata sia

nella gestione del fine vita dell'edificio o del materiale sia nella progettazione di nuovi edifici.

7.1.1 Scenari alla scala dell'edificio (E = edificio)

Per quanto riguarda gli scenari di intervento applicabili all'edificio nel suo complesso, esistono differenti soluzioni da trattare. La seguente suddivisione è stata concepita secondo un ordine gerarchico dalla soluzione meno conveniente in ottica circolare a quella più conveniente.

E1 – Nuova costruzione su suolo libero.

La realizzazione di una nuova costruzione, in ordine gerarchico, risulta essere sicuramente l'intervento a maggior impatto e quindi la soluzione meno conveniente in ottica circolare. Ciò è dovuto al fatto che, prima di tutto, un nuovo edificio sorge su suolo libero non edificato e questo contribuisce molto all'avanzare della problematica relativa al consumo di suolo. Inoltre realizzare un edificio nuovo implica l'utilizzo di numerose risorse e materie prime e conseguentemente anche durante la fase realizzativa di cantiere verranno prodotti rifiuti da costruzione, d'imballaggio e scarti edili. Affinché una nuova costruzione possa considerarsi attenta nei confronti della tematica circolare, è necessario che consideri la possibilità di utilizzare, al posto di ulteriori

materie prime, componenti riutilizzati o riciclati e che progetti l'edificio il più possibile disassemblabile e flessibile, in modo tale che a fine vita utile possa essere smontato e riutilizzato o che le sue componenti, assemblate per lo più a secco, possano essere recuperate, riutilizzate o riciclate.

E2 – Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione nuovo edificio nello stesso sito.

Questa seconda modalità di intervento risulta essere migliore, in termini teorici, rispetto alla realizzazione di un nuovo edificio su suolo libero, in quanto contribuisce alla necessità di limitare il più possibile nuove costruzioni su suolo vergine. Inoltre, molto spesso, l'intervento di demolizione consente il recupero di alcune porzioni di materiale o di componenti edilizi, che possono essere reintrodotti nel nuovo edificio senza troppa difficoltà, e la diminuzione degli impatti relativi alla fase di trasporto degli stessi. Ovviamente quest'operazione, in ottica circolare, è consentita solo quando non sia più conveniente in termini di prestazioni tecnologiche, ambientali ed economiche riutilizzare l'edificio: in questo caso la demolizione e la successiva nuova costruzione, attenta ai principi progettuali dell'economia circolare, risultano essere più convenienti sotto il profilo ambientale.

E3 – Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti.

Il riuso e il recupero degli edifici esistenti rappresenta una buona strategia d'intervento sotto il profilo circolare perché consente in primo luogo di non utilizzare nuove aree libere e in secondo luogo di limitare il più possibile l'uso di nuove risorse e nuovi materiali in quanto l'edificio viene mantenuto e riadattato alle nuove funzioni tramite demolizioni, ricostruzioni e, in alcuni casi, ampliamenti più o meno impattanti. Rispetto dunque alla demolizione totale dell'edificio e alla sua ricostruzione questa strategia permette di ridurre di molto i rifiuti da demolizioni provenienti dall'edificio e consente di sfruttare le prestazioni residue dell'edificio esistente. Ovviamente sono necessari interventi di adeguamento tecno-tipologico, che variano in base allo stato di conservazione dell'edificio e al suo grado di adattabilità. Più l'edificio è progettato per essere flessibile a nuovi utilizzi più risulterà semplice il suo riutilizzo e la sua riconversione. E' dunque necessario saper riconoscere fino a che punto risulta conveniente riadattare un edificio poco flessibile rispetto alla realizzazione di un nuovo edificio progettato in ottica circolare, ovvero con materiali di recupero e riuso, progettato per componenti prefabbricate e disassemblabili, con elevati livelli di prestazioni tecnologiche, completamente riutilizzabile a fine vita.

E4 – Edificio disassemblato e ricostruito in altro

sito.

Quest'ultima categoria è considerata la migliore secondo lo schema gerarchico individuato in quanto racchiude tutti i vantaggi individuati per le altre categorie di interventi. In particolare, non contribuisce all'avanzare della problematica relativa all'ulteriore consumo di suolo (l'edificio disassemblato permette di riutilizzare il suolo su cui era stato realizzato in origine), consente il recupero totale degli elementi costituenti l'edificio e dei suoi materiali (in quanto assemblati a secco e quindi di facile smontaggio e rimontaggio/riutilizzo/riciclo), limita al massimo l'uso di nuove risorse o materie prime e riduce i rifiuti prodotti nella demolizione e successiva ricostruzione. Interventi di questo tipo presuppongono già una progettazione attenta nei confronti della tematica circolare. Questa suddivisione è stata concepita secondo un ordine gerarchico dalla soluzione meno conveniente in ottica circolare a quella più conveniente.

7.1.2 Scenari alla scala del materiale (M= materiale)

Per quanto riguarda gli scenari di intervento applicabili ai materiali, esistono anche in questo caso differenti strategie. La seguente suddivisione è stata concepita secondo un ordine gerarchico dalla soluzione meno conveniente in ottica circolare a quella più conveniente.

M1 – Utilizzo di materiali riciclati con minor valore rispetto all'origine (DOWNCYCLE).

La pratica del riciclo di materiali è considerata, in ordine gerarchico, la meno efficace sotto il profilo circolare poiché, nonostante consenti il recupero di materia e quindi limiti l'uso di materia prima e la generazione di rifiuti, il processo di riutilizzazione necessita comunque di una quantità di energia rilevante. Inoltre il Downcycle produce materia avente minor valore rispetto all'origine e quindi una qualità più bassa (un chiaro esempio di downcycle è la frantumazione di elementi in calcestruzzo usato come aggregato per riempimenti).

M2 – Utilizzo di materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (UPCYCLE).

Per quanto riguarda l'Upcycle, nonostante anche in questo caso il riciclo di materia comporti l'utilizzo di una quantità rilevante di energia, la materia o prodotto riciclato risulta avere un valore maggiore rispetto a quello d'origine e quindi una qualità maggiore (ad esempio gli scarti di produzione che divengono isolanti o rivestimenti di facciata).

M3 – Riuso di materiali provenienti da altri settori.

Il riuso risulta invece essere una pratica migliore in ottica circolare rispetto al riciclo, in quanto i prodotti non hanno bisogno di lunghe lavorazioni e possono essere riutilizzati subito nell'edificio. Questa categoria fa riferimento al riutilizzo di materiali che derivano da altri settori rispetto a quello edile (quali ad esempio bottiglie di plastica, rifiuti industriali, ecc.).

M4 – Riuso di materiali del settore edile provenienti da altri siti.

Questa categoria fa riferimento al riutilizzo di materiali che derivano direttamente dal settore edile ma che provengono da altri siti rispetto a quello in questione e da altri cantieri che hanno intrapreso azioni di demolizione selettiva (quali ad esempio serramenti appartenenti ad altri edifici, rivestimenti, ecc.). Questi materiali possono essere riutilizzati con la medesima funzione rispetto all'origine (ad esempio i serramenti) oppure con differente funzione (ad esempio un pavimento in legno riutilizzato come rivestimento esterno di facciata).

M5 – Riuso di materiale reperito/proveniente dalla demolizione di un edificio nello stesso sito.

Quest'ultima categoria risulta essere la migliore in ordine gerarchico in relazione al tema

dell'economia circolare in edilizia. In questo caso infatti, il materiale, oltre ad essere di riuso, è reperito direttamente in loco, grazie alla demolizione di un edificio preesistente e ciò comporta l'assenza di impatti relativi alla fase di trasporto del materiale nell'area di cantiere. Anche in questo caso i materiali possono essere riutilizzati con la medesima funzione rispetto all'origine oppure con differente funzione.

7.2 I principi progettuali

Oltre agli scenari di intervento individuati nel paragrafo precedente è necessario associare ad essi ulteriori principi, riguardanti soprattutto le scelte progettuali, che contribuiscono alla realizzazione di edifici in ottica circolare. In particolare sono stati presi in considerazione otto principi, di cui i primi sei strettamente collegabili al tema circolare e i restanti ultimi due relativi più genericamente al tema della sostenibilità ambientale. Sono così elencabili:

P1 – Design for Deconstruction: inteso come progettazione dell'edificio per la decostruzione, il disassemblaggio e la demolizione selettiva. In questo modo l'edificio a fine vita può essere smontato e riassembleto oppure i materiali che lo compongono possono essere riutilizzati o riciclati.

P2 – Design for Adaptability: inteso come progettazione dell'edificio per l'adattabilità e la flessibilità. Quest'azione permette di prolungare il periodo di vita utile dell'edificio e di limitare, in caso di mutamento di funzione, gli interventi da effettuare.

P3 – Progettazione secondo Layers: intesa come progettazione dell'edificio secondo strati separati, vista la differente durata di vita utile dei componenti dell'edificio. Ciò permette di sostituire facilmente gli elementi di breve durata e allo stesso tempo progettare gli elementi strutturali affinché siano duraturi nel tempo.

P4 – Design for Off Site Construction: intesa come progettazione dell'edificio per elementi prefabbricati, ossia realizzati e completati in un luogo differente dal cantiere di realizzazione dell'edificio e successivamente trasportati e assemblati con metodologie a secco in cantiere, evitando quindi la produzione di scarti e rifiuti prodotti in cantiere.

P5 – Presenza di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita: questo principio comprende tutti i materiali nuovi che, a fine vita utile, possono essere riutilizzati o riciclati e tutti i materiali riutilizzati e riciclati che, a fine vita utile, possono essere

nuovamente riutilizzati o riciclati.

P6 – Gestione dei rifiuti da C&D: questo principio favorisce la re-immissione delle risorse riciclabili o riutilizzabili, derivanti dalla costruzione/demolizione di edifici, nel processo produttivo, conferendo i materiali riutilizzabili in appositi siti di raccolta. L'obiettivo di questo principio è quello di evitare che i rifiuti da costruzione, demolizione e pulizia del terreno siano conferiti in discarica e negli inceneritori.

P7 – Presenza di materiali locali (entro 350 km): questo principio incentiva l'utilizzo di materiali che siano il più possibile di tipo locale, ovvero reperibili entro un raggio limitato rispetto alla zona in cui si trova l'edificio. Ciò consente di ridurre gli impatti generati durante la fase di trasporto del materiale.

P8 – Uso efficiente delle risorse: riferito principalmente alla fase d'uso dell'edificio, questo principio fa riferimento alla gestione energetica dell'edificio tramite fonti rinnovabili e ai sistemi di recupero dell'acqua piovana.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A conclusione di questa prima parte dell'elaborato di tesi, risulta più chiaro definire cosa si intende con il termine economia circolare in edilizia e comprendere il quadro evolutivo odierno in relazione a questa tematica. Ciò che in primis è emerso, è la progressiva tendenza dell'Europa, ma anche dell'Italia, alla promozione verso un orientamento circolare del settore edile, grazie ad una serie di normative che incentivano la riduzione del consumo di materie prime e della produzione di rifiuti, favorendo le pratiche del riuso e del riciclo. In secundis, risulta evidente sottolineare l'importanza di un approccio al ciclo di vita dell'edificio, partendo dalla fase di estrazione delle materie prime, alla fase di trasporto, produzione, uso, fino alla fase di dismissione e ai successivi processi di riuso e di riciclo. Infine, a conclusione della prima parte dell'elaborato, l'individuazione dei differenti scenari di intervento in ottica circolare, sia alla scala dell'edificio sia alla scala del materiale e del componente edilizio, ha permesso di identificare un quadro esaustivo in relazione alle differenti strategie d'applicazione dell'economia circolare all'edilizia, le quali rappresentano le basi con cui sono stati classificati i vari casi studio analizzati nella seguente seconda parte.

PARTE II

ANALISI DEI CASI STUDIO

All'interno di questa seconda, e centrale, parte dell'elaborato si cercherà di comprendere quali sono le tipologie di edifici, ad oggi esistenti sul territorio, che applicano in modo concreto il concetto di economia circolare. Ciò avverrà grazie alla catalogazione di una serie di casi studio che aiuteranno a chiarire meglio la messa in atto degli interventi e dei principi progettuali in ottica circolare, enunciati nell'ultimo capitolo della prima parte della tesi. Questa parte risulta dunque essere particolarmente importante in quanto base su cui porre una serie di riflessioni, considerazioni e valutazioni specifiche riguardo alle principali tematiche emerse fin a questo punto del lavoro.

9 METODOLOGIA DI RACCOLTA DEI CASI STUDIO

La selezione dei casi studio è stata operata nel tentativo di garantire una visione il più possibile generale e completa delle differenti strategie e modalità di applicazione della circular economy fino ad oggi sperimentate nel settore dell'edilizia. I casi studio analizzati sono stati individuati grazie ad una meticolosa ricerca effettuata con l'ausilio di documentazione e di articoli presenti in letteratura, della sitografia in Internet inserendo come parole chiave *reused and recycled*

building materials e *adaptive reuse*, della consultazione di riviste di settore quali Arketipo, Detail, The Plan, e di portali online quali ArchDaily, The Architectural Review, Inhabitat, ecc. I casi, in quanto punto di partenza per la successiva fase critico-argomentativa, sono stati scelti in modo tale da essere molto differenti tra di loro sia per quanto riguarda gli interventi alla scala dell'edificio e alla scala del materiale, sia per il contesto geografico, economico e sociale che per le tipologie edilizie (settore residenziale, industriale, istruttivo, sportivo, ecc.). In questo modo è possibile ottenere un panorama vasto e generale su cui poter sviluppare una serie di osservazioni: lo scopo dunque di questa metodologia di scelta non è stato quello di individuare una serie di "casi studio esemplari" da esporre come guida, ma di ricercare casi che hanno applicato, in modo differente, chi più chi meno, la concezione del costruire circolare.

I vari casi raccolti sono stati suddivisi e catalogati all'interno degli scenari d'intervento individuati nel capitolo 8, sia alla scala dell'edificio che alla scala del materiale, in ordine gerarchico. Per quanto riguarda l'edificio la classificazione è quella che segue:

SCENARI ALLA SCALA DELL'EDIFICIO	
CODICE	DESCRIZIONE
E1	Nuova costruzione
E2	Demolizione totale dell'edificio esistente e ricostruzione edificio nello stesso sito
E3	Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti
E4	Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

Tabella 9.1: Scenari alla scala dell'edificio;
Fonte: elaborazione personale;

Per quanto riguarda l'uso dei materiali all'interno dei casi studio analizzati, sono stati individuati attraverso un codice, in ordine gerarchico, i possibili impieghi di materiale con contenuto di riciclato o di riuso ponendo particolare attenzione al settore di provenienza e alla funzione del materiale impiegato nel progetto. I casi studio, quindi, a seconda dei materiali utilizzati all'interno del progetto sono associati al rispettivo codice:

SCENARI ALLA SCALA DEL MATERIALE	
CODICE	DESCRIZIONE
M1	Utilizzo di materiali riciclati con minor valore rispetto all'origine (Downcycle)
M2	Utilizzo di materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (Upcycle)
M3	Riuso di materiali provenienti da altri settori
M4	M4.1 Riuso di materiali del settore edile provenienti da altri siti con differente funzione rispetto all'origine
	M4.2 Riuso di materiali del settore edile provenienti da altri siti con stessa funzione rispetto all'origine
M5	M5.1 Riuso di materiale reperito/proveniente dalla demolizione di un edificio nello stesso sito con differente funzione rispetto all'origine
	M5.2 Riuso di materiale reperito/proveniente dalla demolizione di un edificio nello stesso sito con stessa funzione rispetto all'origine

Tabella 9.2: Scenari alla scala del materiale;
Fonte: elaborazione personale;

Per ognuno di essi è stata evidenziata l'attenzione ai principi progettuali in ottica circolare (definiti sempre all'interno del Capitolo 8), ovvero:

PRINCIPI PROGETTUALI	
CODICE	DESCRIZIONE
P1	<i>Design for Deconstruction</i> : progettare per la decostruzione e la demolizione selettiva
P2	<i>Design for Adaptability</i> : progettare per l'adattabilità e la flessibilità
P3	<i>Building in Layers</i> : progettare per strati
P4	<i>Design for Off Site Construction</i> : progettare per la prefabbricazione
P5	Presenza di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita
P6	Gestione dei rifiuti da C&D
P7	Presenza di materiali locali (entro 350 km)
P8	Uso efficiente delle risorse

Tabella 9.3: Principi progettuali; Fonte: elaborazione personale;

Per ogni caso studio è dedicata una scheda contenente le principali informazioni riguardo alla tipologia di intervento applicata, all'adesione o meno ai principi progettuali e alla presenza di certificazioni ambientali dell'edificio o del materiale; è inoltre presente la documentazione grafica necessaria per la comprensione del manufatto edilizio tra cui planimetrie, piante, sezioni/prospetti e la documentazione fotografica, con specifica attenzione ai materiali e componenti riciclati o riutilizzati.

Le schede sono state disposte in ordine gerarchico a partire dalla scala dell'edificio e, successivamente, considerando il materiale utilizzato tenendo presente prima i casi studio con un solo scenario e, successivamente, i casi con molteplici scenari alla scala del materiale. L'ordine gerarchico, tuttavia, non è totalmente rappresentativo dell'effettiva superiorità di un caso studio rispetto a un altro, in quanto si sarebbero dovuti considerare molti più elementi per comparare tra loro i casi (dalla quantità del materiale riciclato o riusato, alla superficie utile, al valore reale degli impatti evitati, e così via). Ciò nonostante l'ordine considerato è utile a delineare una gerarchia base dei casi studio adeguata alla comprensione dei differenti scenari alla scala dell'edificio e alla scala del materiale.

10 CASI STUDIO

Esempio di layout di una scheda di analisi. I casi studio possono essere disposti su una oppure due schede in relazione alla quantità di informazioni necessarie per la comprensione del progetto:

Codice della scheda

Nome dell'edificio

Progettisti

10.12

UNA ESCUELA SUSTENTABLE

MICHAEL REYNOLDS

Ubicazione: Jaureguiberry, Uruguay
 Anno di costruzione: 2016
 Funzione: scuola
 Superficie: 270 mq
 Costo di costruzione: 350.000 €

E1	E2	E3	E4
M1	M2	M3	M4.1
			M4.2
			M5.1
			M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori.

DESCRIZIONE

Una Escuela Sustentable è la prima scuola completamente ecosostenibile del paese costruita secondo i criteri della Earthship Biotechture consolidati da Michael Reynolds.

L'edificio è stato realizzato, in soli tre mesi, con 2.000 pneumatici, 3.000 bottiglie di vetro, 1.500 bottiglie di plastica, 12.000 lattine e 2.000 metri quadrati di cartone, abbinati a terra cruda e legno. L'edificio, in totale, è realizzato per il 60% da materiali recuperati, e per il 40% da materiali tradizionali.

Per costruire questa scuola sono arrivati in Uruguay volontari da Londra, dalla Malaysia, dagli Usa, dal Canada e da un po' tutta l'America Latina e il governo di sinistra dell'Uruguay la considera "un atto rivoluzionario".

PRINCIPI PROGETTUALI

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura sono installati pannelli solari e mulini a vento che rendono l'edificio completamente autosufficiente. E' inoltre presente un sistema di recupero delle acque piovane oltre ad una serra utile alla coltivazione di specie vegetali fruttifere e alla produzione di cibo.



Figura 10.53: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;



Figura 10.54: Realizzazione della struttura portante con pneumatici e realizzazione delle colonne in lattine di alluminio rivestite; Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;

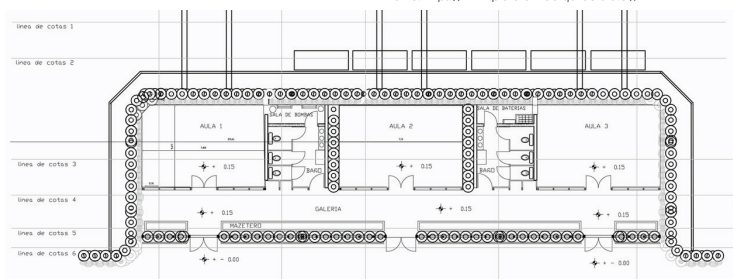


Figura 10.55: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;

Tabella contenente i dati del progetto, il codice di intervento alla scala dell'edificio e alla scala del materiale e la descrizione dello scenario

Descrizione del caso studio con specifiche sui prodotti e materiali utilizzati nel progetto

Descrizione dei principi progettuali

Documentazione grafica con riferimenti in particolare ai materiali utilizzati

Ubicazione: Melbourne, Australia
 Anno di costruzione: 2006
 Funzione: uffici
 Superficie: 12.500 mq
 Costo di costruzione: 44.000.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

DESCRIZIONE

Council House 2 è la nuova sede degli uffici comunali della città di Melbourne in Australia.

All'interno della struttura portante, realizzata in cemento armato, sono state utilizzate, per il 100% della quantità totale, armature in acciaio con contenuto riciclato, prodotto dall'industria australiana Smorgon Steel, realizzato attraverso il riprocesso di rottami di metalli e rifiuti metallici post-consumo fusi all'interno di un forno elettrico ad arco (FEA).

Gli elementi strutturali in calcestruzzo, di cui il 32% della quantità totale è prefabbricato, sono stati realizzati (per il 60% circa) con aggregati riciclati e rifiuti industriali come fly ash e slag in sostituzione di aggregati naturali.

Il 100% del legno utilizzato nel progetto, per la realizzazione delle lamelle che caratterizzano il prospetto ovest, proviene da legno riciclato.

PRINCIPI PROGETTUALI

P4: Design for Off Site Construction

Sono presenti elementi prefabbricati per la realizzazione dei soffitti ondulati in calcestruzzo.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

La raccolta differenziata e lo stoccaggio dei rifiuti prodotti in cantiere durante la costruzione hanno permesso il riciclaggio del 97% di rifiuti prodotti in sito.

P8: Uso efficiente delle risorse

Council House 2 è stato progettato con tecnologie efficienti, come 48 mq di pannelli fotovoltaici, serbatoi per il recupero delle acque piovane, ecc., che hanno permesso la riduzione di emissione di CO₂ e consumi di gas dell'87%, la riduzione del fabbisogno energetico dell'85%, e la riduzione di consumo di acqua potabile del 72%.

CERTIFICAZIONI

Green Star - Office Design v1, 2005

Punteggio: 87/120 - 6 stelle

Oltre al legno con contenuto di riciclato delle lamelle, il legno da materia prima per altri elementi (ad esempio per gli infissi) proviene da foreste a gestione sostenibile certificati da FSC.



Figura 10.1: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

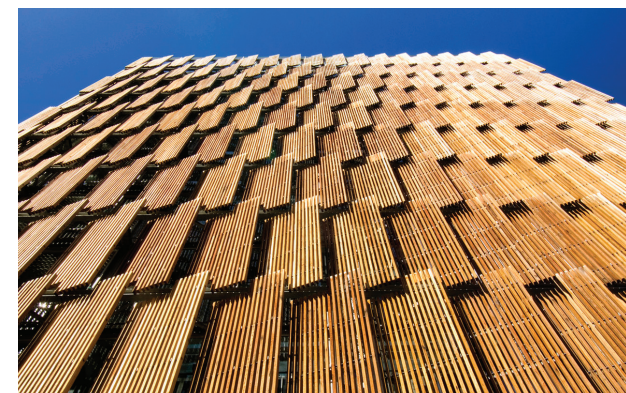


Figura 10.2: Particolare della facciata con lamelle in legno con contenuto di riciclato; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.3: Vista dello spazio interno. I soffitti sono realizzati in elementi curvilinei prefabbricati in calcestruzzo;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

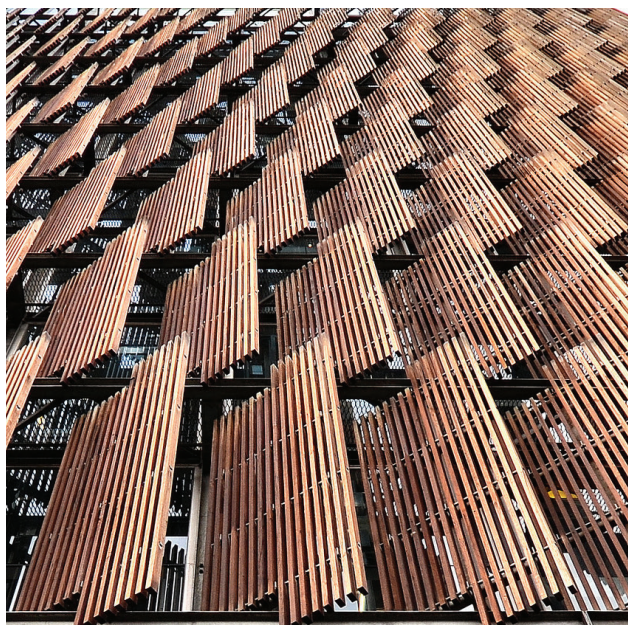


Figura 10.4: Le lamelle sono regolate automaticamente utilizzando l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

La struttura portante è realizzata in cemento armato con calcestruzzo con contenuto di riciclato

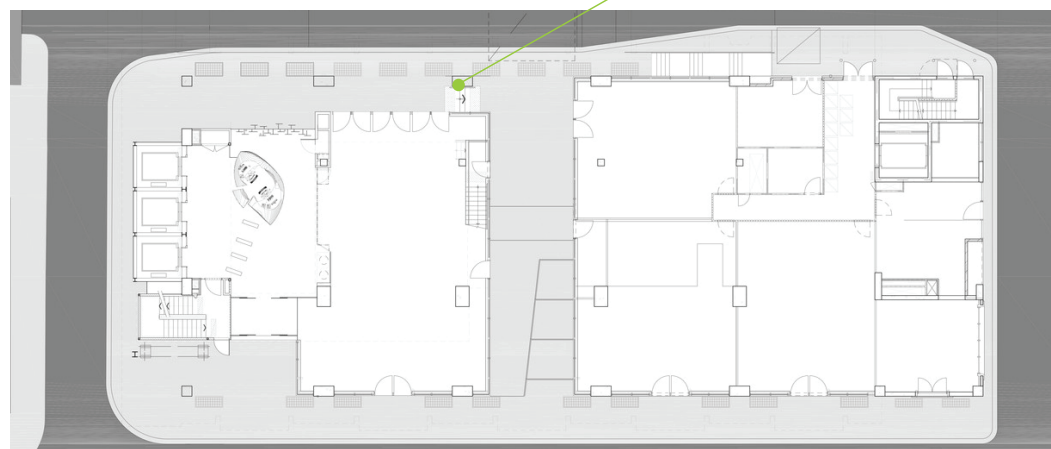
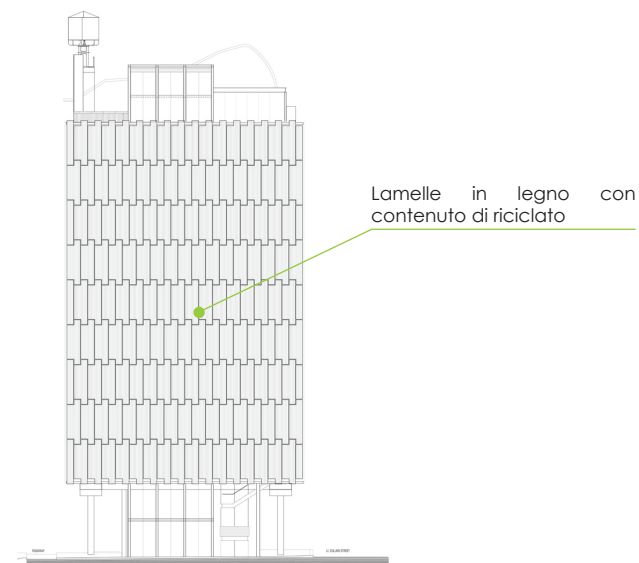


Figura 10.5: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.6: Prospetto frontale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Lamelle in legno con contenuto di riciclato

Figura 10.7: Prospetto laterale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Colombia
 Anno di costruzione: 2010
 Funzione: residenza
 Superficie: 40 mq
 Costo di costruzione: 6.300 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con uso di materiali riciclati con maggiore valore rispetto all'origine (upcycle)

DESCRIZIONE

Conceptos Plásticos è un'organizzazione fondata dall'architetto Oscar Mendez che si occupa di sistemi costruttivi realizzati con plastica riciclata: i rifiuti di plastica vengono fusi e colati in uno stampo per ottenere dei mattoni di plastica assemblabili a incastro. Una costruzione abitativa di 40 mq può essere realizzata da solo quattro persone in cinque giorni. Oltre a ridurre gli impatti ambientali, il sistema costruttivo permette di ridurre gli impatti sociali ed economici (il sistema è del 30% più economico dei sistemi tradizionali). In due anni sono stati riciclati ben 160 tonnellate di rifiuti domestici di plastica (solitamente PET e HDPE).

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Le costruzioni del sistema a secco Conceptos Plásticos sono completamente disassemblabili e ricostruibili in altre località.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Una volta disassemblati i mattoni di plastica possono essere riutilizzati in altri progetti o possono essere nuovamente riciclati.



Figura 10.8: Un'abitazione di 40 mq realizzata con mattoni di plastica riciclata; Fonte: <https://design.fanpage.it/>;



Figura 10.9: La realizzazione di un edificio. I mattoni vengono incastrati tra di loro e ancorati a degli elementi verticali e orizzontali di giunzione in plastica riciclata; Fonte: <https://www.archdaily.com.br/>;



Figura 10.10: Il sistema costruttivo in mattoni di plastica riciclata; Fonte: <http://observers.france24.com/>;

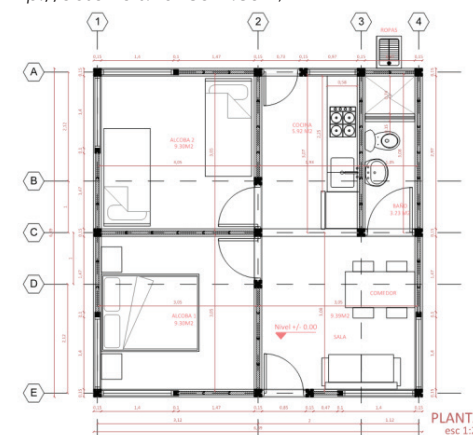


Figura 10.11: Planimetria di un'abitazione di 40 mq; Fonte: <http://observers.france24.com/>;

Ubicazione: Yackandandah, Australia
 Anno di costruzione: 2014
 Funzione: residenza
 Superficie: 100 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con uso di materiale riciclato con valore maggiore rispetto all'origine (upcycle)

DESCRIZIONE

L'edificio è realizzato con l'uso di materiale riciclato. La casa, infatti, è composta da 270 blocchi in calcestruzzo con contenuto di riciclato che formano le pareti perimetrali dell'edificio. Ogni blocco ha un peso totale di circa una tonnellata ed è stato prodotto localmente grazie al riciclo di lastre o scarti di elementi in calcestruzzo che sono stati trovati abbandonati nelle zone limitrofe e utilizzati per produrre i blocchi.

Il pavimento in legno dell'abitazione, invece, è stato ricavato da alberi che trovati abbattuti in zona.

PRINCIPI PROGETTUALI

P7: Materiali locali

I blocchi di calcestruzzo, così come il pavimento in legno, sono stati prodotti localmente tramite il riciclaggio di elementi recuperati nelle zone limitrofe.



Figura 10.12: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <http://archdaily.com/>;



Figura 10.13: I blocchi di calcestruzzo con contenuto di riciclato;
 Fonte: <http://archdaily.com/>;

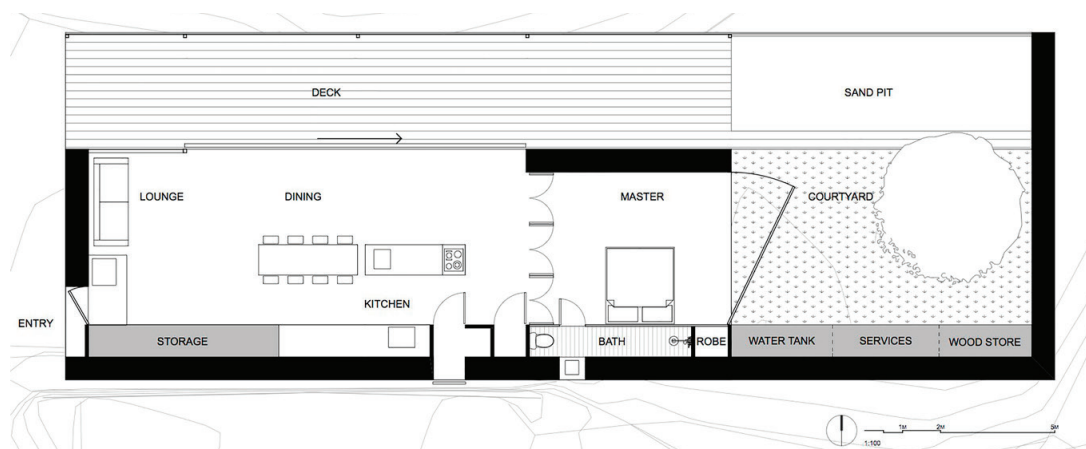


Figura 10.14: Pianta piano terra; Fonte: <http://archdaily.com/>;

Ubicazione: Veneto, Italia
 Anno di costruzione: 2010
 Funzione: uffici
 Superficie: 600 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

DESCRIZIONE

L'azienda veneta Savno si occupa della gestione della raccolta differenziata dei rifiuti dei cittadini e delle imprese con sistemi e tecnologie all'avanguardia.

L'edificio è stato realizzato in modo da incorporare il più possibile materiale riciclato proveniente, principalmente, dalla raccolta differenziata permettendo la comprensione immediata del valore "etico" ed "ecologico" dell'edificio. I 33 mc di pannelli utilizzati per l'isolamento termo-acustico sono realizzati in poliestere riciclato proveniente da circa 33.000 bottiglie di plastica derivanti dalla raccolta differenziata. L'83% della quantità totale di pannelli in legno-cemento utilizzati per il tamponamento sono costituiti da scarti di segherie. L'isolamento dei solai è in fibra di cellulosa realizzata utilizzando i quotidiani riciclati e circa 1 milione di tappi di sughero riciclati. Anche l'isolante in sughero delle pareti esterne proviene da scarti di lavorazione. Infine, la struttura portante è realizzata con doppio telaio di acciaio con contenuto di riciclato.

PRINCIPI PROGETTUALI

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

L'acciaio della struttura portante e l'alluminio

degli infissi e delle porte può essere riciclato a fine vita. I pannelli in legno-cemento sono riciclabili al 100%. Gli isolanti realizzati con quotidiani possono essere riciclati all'infinito.

P8: Uso efficiente delle risorse

Grazie all'uso di pannelli fotovoltaici il fabbisogno energetico è di solo 6 kWh/mc all'anno ed evita l'emissione in atmosfera di 2.500 kg di CO₂. L'acqua piovana raccolta sulla copertura, una volta filtrata e depurata, è utilizzata al 70% per gli scarichi del w.c., mentre il restante 30% viene utilizzato per irrigare il giardino pensile. L'impianto geotermico garantisce il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio ad emissioni zero. L'edificio è dotato di certificazione energetica A+.



Figura 10.15: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.arketipomagazine.it/>;



Figura 10.16: L'83% dei pannelli di tamponamento in legno-cemento sono ottenuti da scarti di segherie; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;



Figura 10.17: Le scaglie ottenute dalle bottiglie di plastica derivanti dalla raccolta differenziata; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;



Figura 10.18: La fibra in polistirene ottenuta dopo il processo di riciclo delle bottiglie di plastica; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;



Figura 10.19: I pannelli isolanti finali in polistirene con contenuto di riciclato utilizzati per l'isolamento delle pareti esterne; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;



Figura 10.20: L'isolamento dei pavimenti è realizzato con sughero riciclato; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;

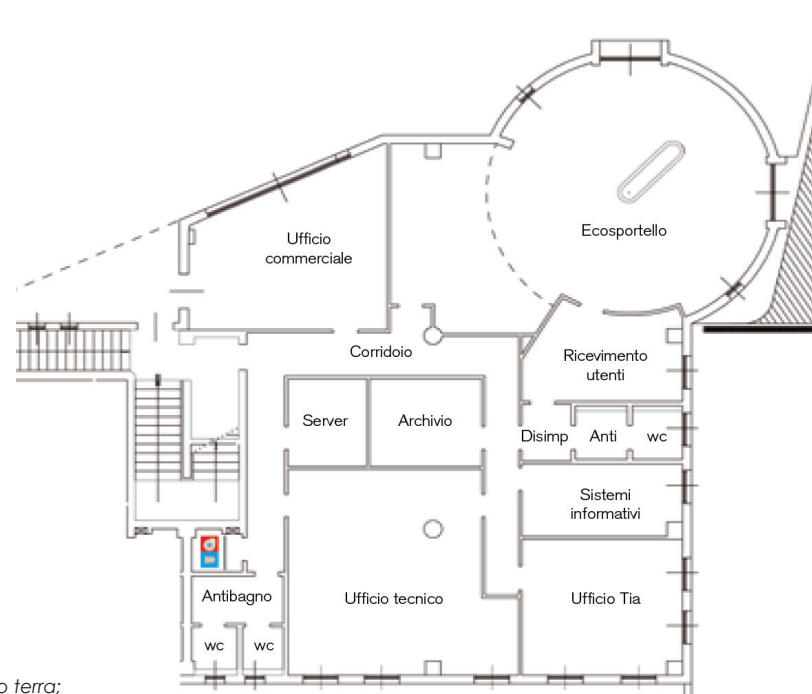


Figura 10.21: Pianta piano terra; Fonte: <http://www.savnoservizi.it/>;

Ubicazione: Eindhoven, Olanda
 Anno di costruzione: 2017
 Tipologia: centro culturale
 Superficie: 250 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

DESCRIZIONE

People's Pavilion è un edificio temporaneo progettato per essere completamente "circolare" realizzato esclusivamente con materiali presi in prestito da fornitori e produttori che verranno, a loro volta, restituiti una volta terminato il festival della *Dutch Design Week 2017*, in modo da non produrre rifiuti di alcun genere.

Il rivestimento esterno è realizzato in mattonelle di plastica riciclata prodotta dall'azienda belga Govaplast. Il processo di riciclaggio dell'azienda inizia dalla selezione di materiale grezzo proveniente da rifiuti domestici in plastica riciclata al 100%, sotto forma di agglomerato, macinato o rigranulato, che vengono acquistati da paesi europei occidentali.

Tipicamente vengono impiegati materiali plastici come polietilene ad alta intensità (HDPE), polietilene a bassa intensità (LDPE) e polipropilene (PP).

Il materiale viene, successivamente, combinato con tinte e altri additivi che ne migliorano le proprietà di resistenza per poi essere fuso ad alte temperature. Anche gli infissi in alluminio della base sono realizzati in vetro con contenuto di riciclato.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for Deconstruction

L'edificio temporaneo è progettato per essere completamente disassemblato a fine vita.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

I materiali presi in prestito verranno restituiti ai rispettivi fornitori e potranno, successivamente, essere riutilizzati. Le mattonelle in plastica possono essere riutilizzate o riciclate nuovamente.

P7: Materiali locali

Tutti i materiali provengono da fornitori locali. Le mattonelle riciclate derivano dallo stabilimento Govaplast situato a circa 80 km dal sito.

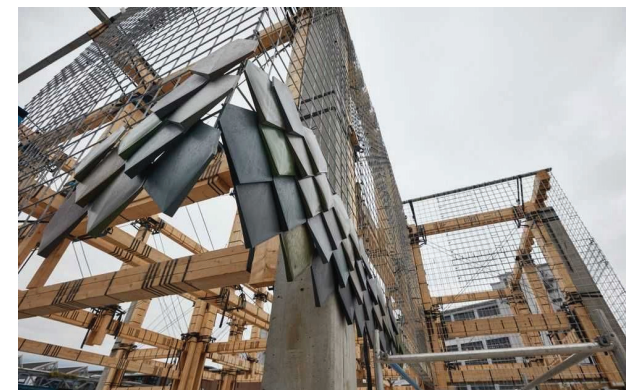


Figura 10.23: Le mattonelle sono ancorate a una struttura metallica permettendo quindi la possibilità di demolire in modo selettivo il rivestimento del padiglione;

Fonte: <http://www.aboutdesignworld.com/>;



Figura 10.22: Vista complessiva dell'edificio;

Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

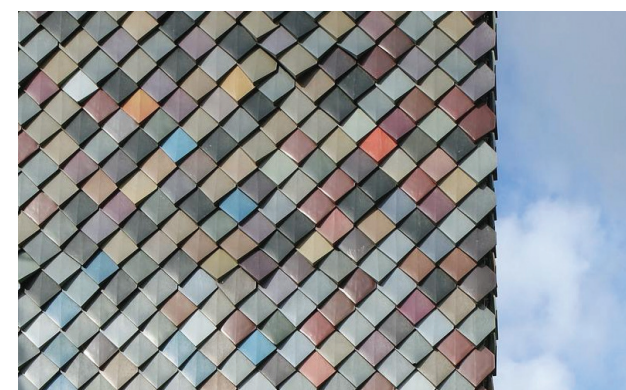


Figura 10.24: Dettaglio delle mattonelle in plastica riciclata;

Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

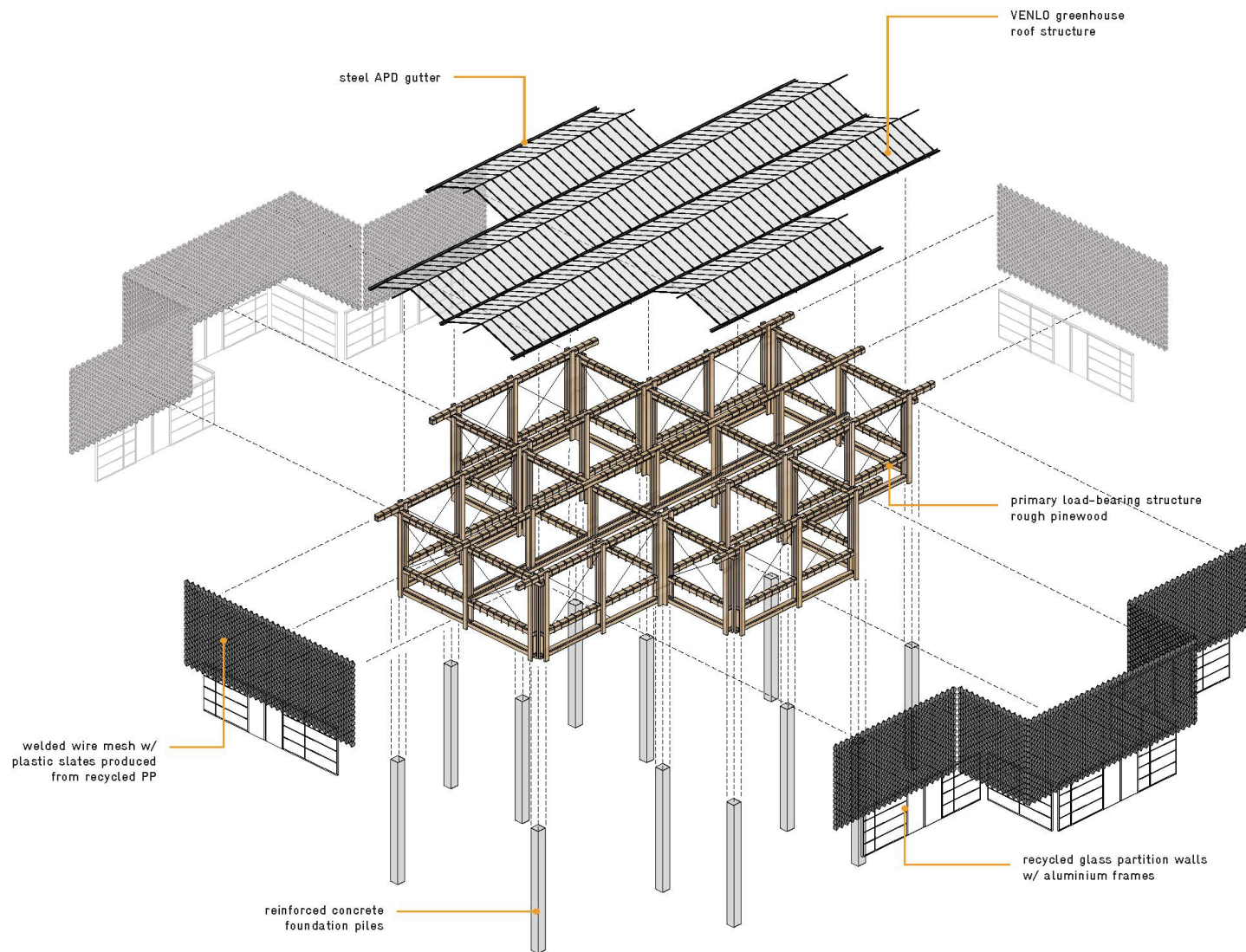


Figura 10.25: Esploso assonometrico con riferimento ai materiali con contenuto di riciclato; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

Ubicazione: Vicenza, Italia
 Anno di costruzione: 2012
 Funzione: uffici
 Superficie: 190 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

DESCRIZIONE

Tvzeb è un edificio sperimentale ad energia zero, nato dalla collaborazione tra lo studio di architettura Traverso-Vighy e il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova.

Lo strato di isolante, sia della copertura, sia delle chiusure verticali che del solaio contro terra, è caratterizzato da un doppio strato di 9 cm l'uno, per uno spessore totale di 18 cm, realizzato in poliestere che è proviene dal riciclo di circa 40.000 bottiglie di plastica (PET).

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for Deconstruction

L'edificio è stato progettato per essere interamente smontato a fine vita.

P3: Building in layers

L'edificio è progettato per strati indipendenti facilmente individuabili. La struttura, ad esempio, è realizzata in portali in legno lamellare indipendenti a cui è agganciato l'involucro esterno.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Tutti i materiali, a fine vita, possono essere mandati in centri di riciclaggio o essere riutilizzati in altri progetti.

P7: Materiali locali

Tutti i materiali e i componenti provengono da filiere situate a una distanza massima di 70 km.

P8: Uso efficiente delle risorse

L'impianto fotovoltaico, composto da 16 pannelli (6 kW), copre l'intero fabbisogno di energia elettrica annuo.

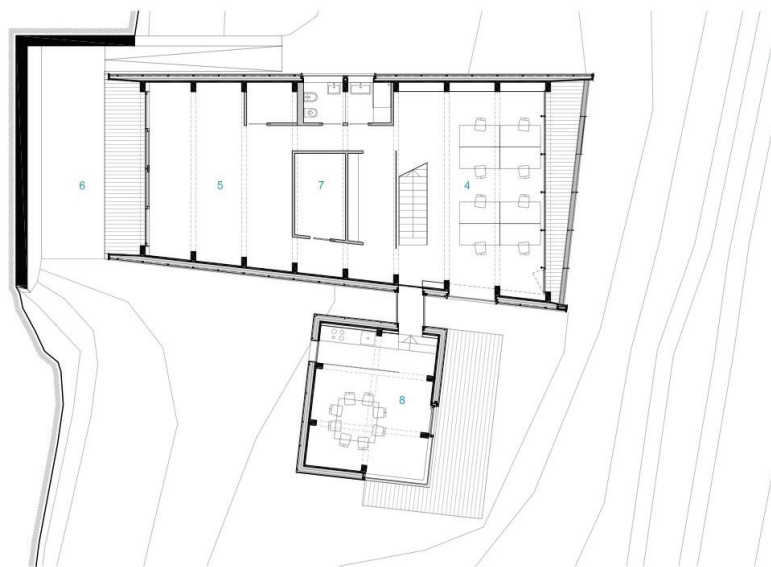
L'edificio viene riscaldato e raffreddato attraverso un sistema di geotermia con pompa di calore alimentata dal sistema fotovoltaico e una caldaia a legna che sfrutta le potature del bosco circostante. Inoltre è stato inserito un bacino di raccolta per le acque meteoriche per l'irrigazione del verde.



Figura 10.26: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.27: Strato di isolante riciclato da bottiglie PET;
 Fonte: Arketipo, 2013;



- 1 loggia di ingresso
- 2 ufficio
- 3 terrazzo
- 4 open space
- 5 laboratorio
- 6 corte incassata
- 7 centrale termica
- 8 cucina

0 1 2 5m

planimetria piano terra

Figura 10.28: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Lo strato di isolante di 18 cm è realizzato in poliestere riciclato da bottiglie di plastica

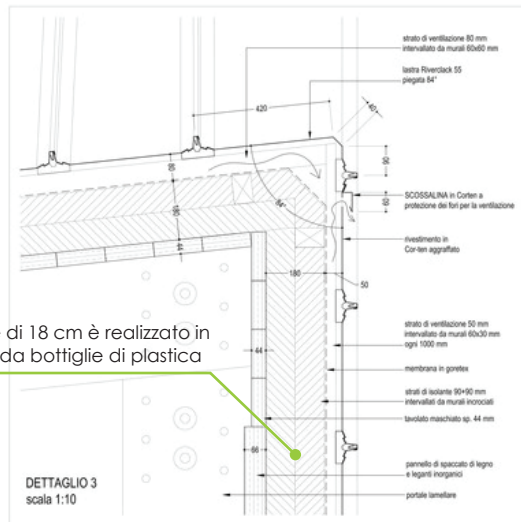
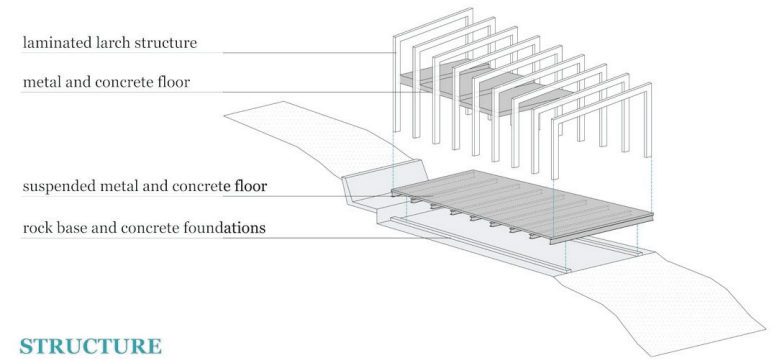
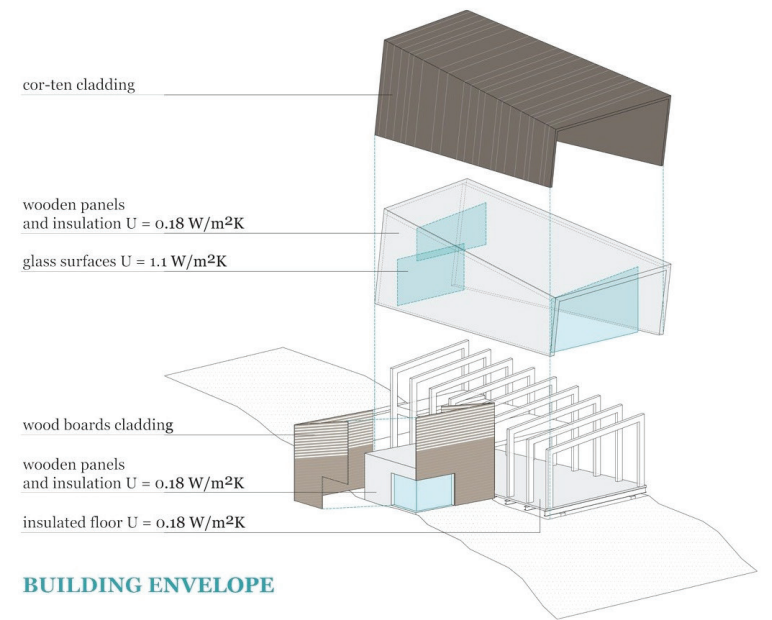


Figura 10.29: Dettaglio costruttivo nodo parete-copertura; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



STRUCTURE



BUILDING ENVELOPE

Figura 10.30: Esposo assometrico; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Lexington, US
 Anno di costruzione: 2008
 Funzione: residenza
 Superficie: 353 mq
 Costo di costruzione: 490.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

L'edificio è stato realizzato incorporando il più possibile elementi provenienti dall'autostrada smantellata Big Dig che altrimenti sarebbero stati conferiti in discarica. In totale, circa 272.000 kg di materiale è stato recuperato e riutilizzato all'interno della Big Dig House.

Il 100% della struttura dell'edificio è realizzata con elementi di recupero, in particolare sono state riutilizzate le travi, i pilastri in acciaio e le piastre in cemento armato ottenute dalla demolizione selettiva dell'autostrada I-93 di Boston.

Il riassetto degli elementi è stato realizzato in modo simile a un sistema prefabbricato e i grandi profili delle travi e dei pilastri in acciaio sono in grado di sopportare carichi decisamente maggiori rispetto a quelli di un edificio residenziale tradizionale. Questa caratteristica ha permesso di poter realizzare un giardino sulla copertura dell'edificio.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Alcuni elementi possono essere disassemblati e riutilizzati, in particolar modo il telaio in acciaio può essere nuovamente riutilizzato in altri progetti.

P8: Uso efficiente delle risorse

E' presente un sistema di raccolta dell'acqua piovana, attraverso una cisterna anch'essa di recupero, situata al di sotto dell'edificio, utilizzata per irrigare il tetto giardino.



Figura 10.31: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

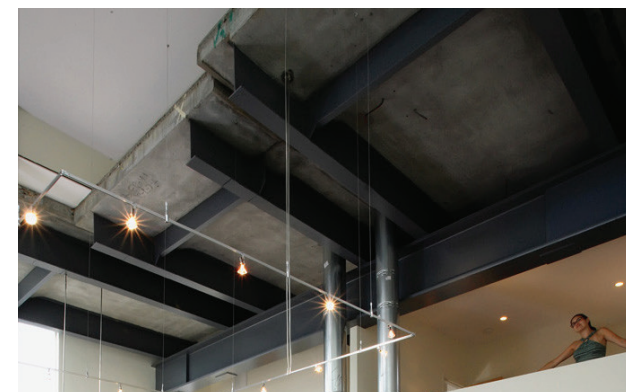


Figura 10.32: Vista dell'interno con gli elementi in calcestruzzo e acciaio provenienti dallo smantellamento dell'autostrada Big Dig;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.33: Assemblaggio in cantiere degli elementi recuperati;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.34: La struttura recuperata per la realizzazione del nuovo edificio è stata mantenuta volontariamente all'esterno per renderla visibile; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

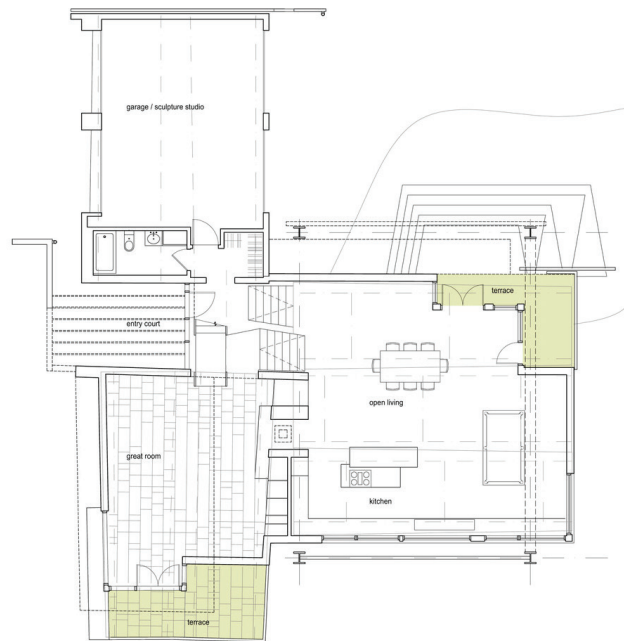


Figura 10.35: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

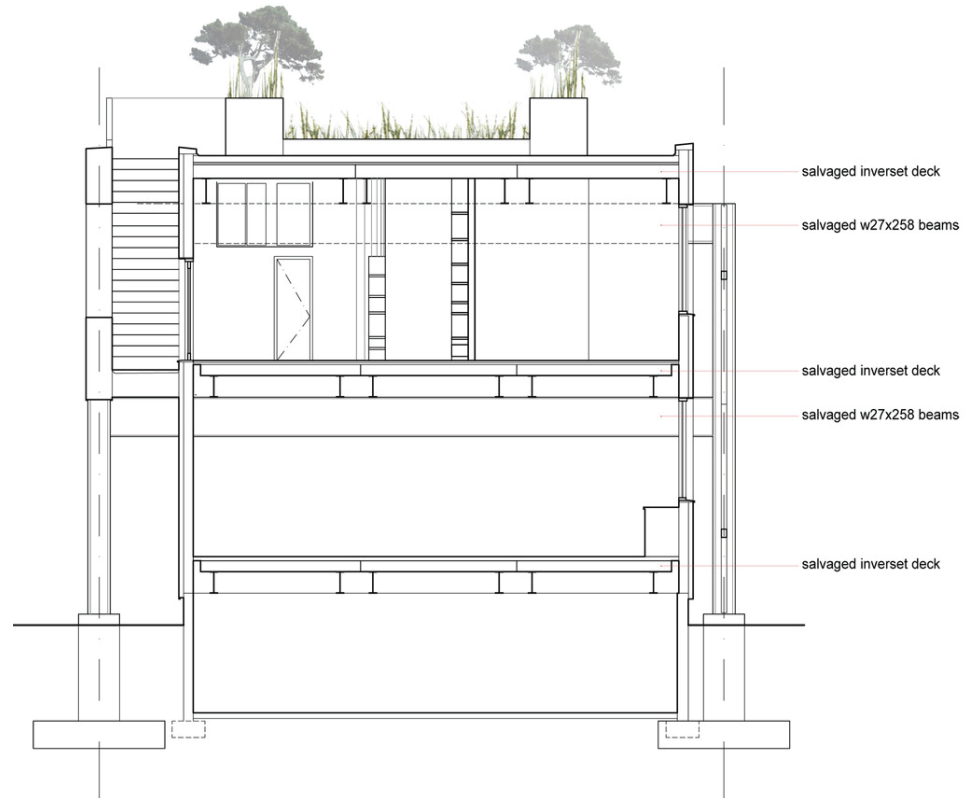


Figura 10.36: Sezione trasversale con identificazione degli elementi recuperati; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

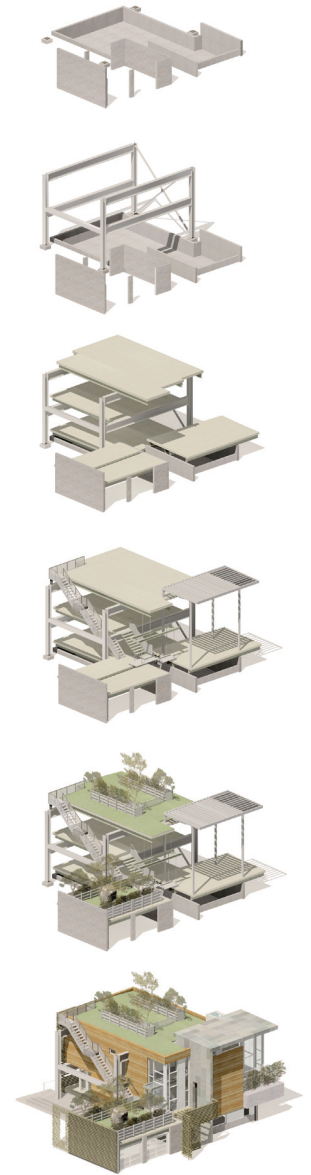


Figura 10.37: Fasi costruttive della Big Dig House; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Jawa Barat, Indonesia
 Anno di costruzione: 2016
 Funzione: biblioteca
 Superficie: 160 mq
 Costo di costruzione: 35.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

L'edificio sorge all'interno di una piccola piazza con un palcoscenico preesistente, utilizzata dalla comunità locale per raduni, eventi, e attività sportive. La nuova biblioteca, realizzata sul palcoscenico esistente, si poggia su pilastri garantendo l'uso contemporaneo anche della piattaforma.

La struttura dell'edificio è realizzata con travi e pilastri in acciaio e piastre in calcestruzzo, mentre i tamponamenti esterni sono realizzati con infissi scorrevoli in policarbonato e con vaschette di plastica di gelato recuperate che avvolgono l'intero perimetro dell'edificio. I progettisti hanno acquistato da alcuni venditori le vaschette in plastica di gelato utilizzate, le quali, oltre a evitare i consumi generati a seguito della realizzazione dello stesso prodotto da materie prime, riducono anche la quantità di rifiuti da smaltire e i costi di costruzione. In totale sono state reimpiegate circa 2.000 vaschette di plastica imbullonate ad una sotto struttura metallica e posizionate in modo che l'acqua piovana non entri al loro interno.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Grazie al sistema di imbullonatura delle vaschette alla sotto struttura metallica, gli elementi possono essere interamente smontati.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Le vaschette in plastica possono essere, una volta smontate, riutilizzate o mandate in centri di riciclaggio. Questo è possibile in quanto non sono state utilizzate colle o altri adesivi che ne compromettono la loro riciclabilità.



Figura 10.38: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.39: Le vaschette di recupero sono imbullonate a una struttura metallica garantendo la possibilità di rimuoverle selettivamente;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.40: Vista dell'interno: le vaschette permettono il passaggio della luce naturale creando un'illuminazione confortevole;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

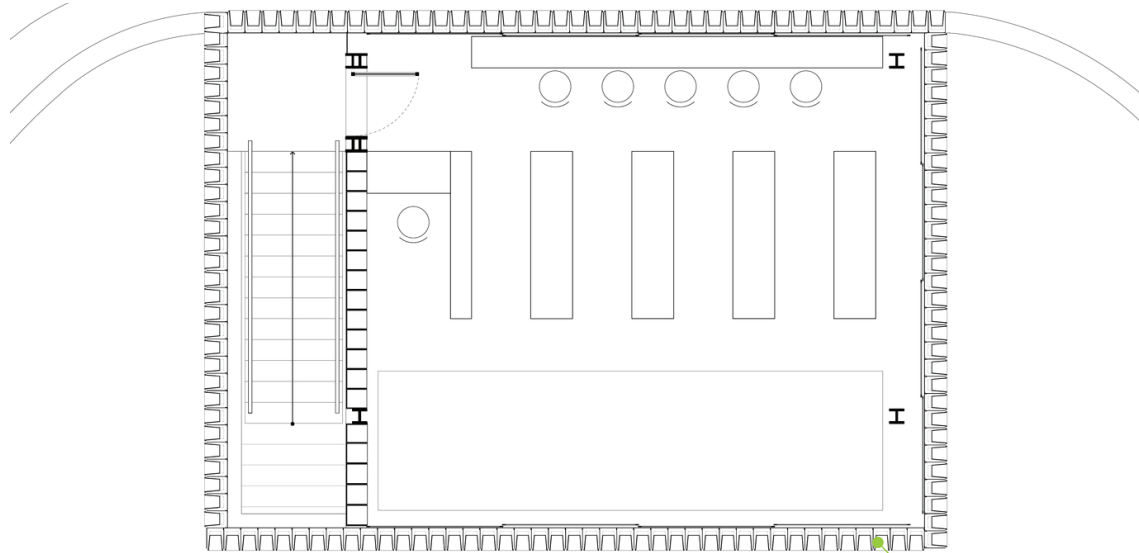
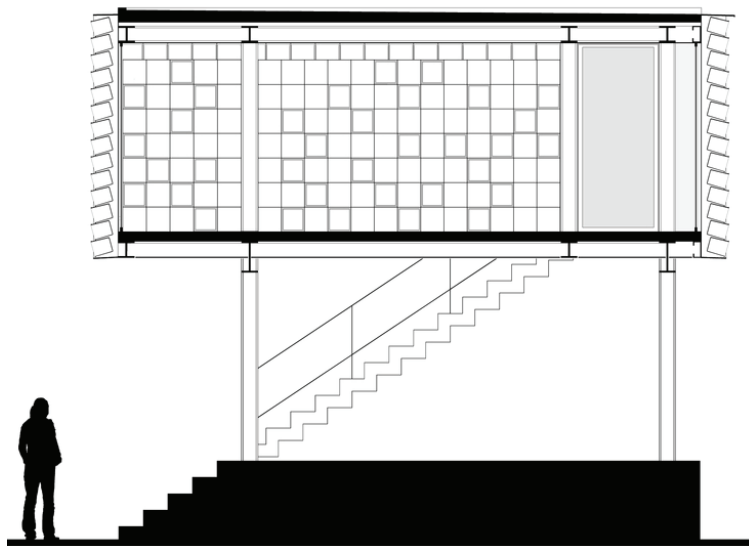
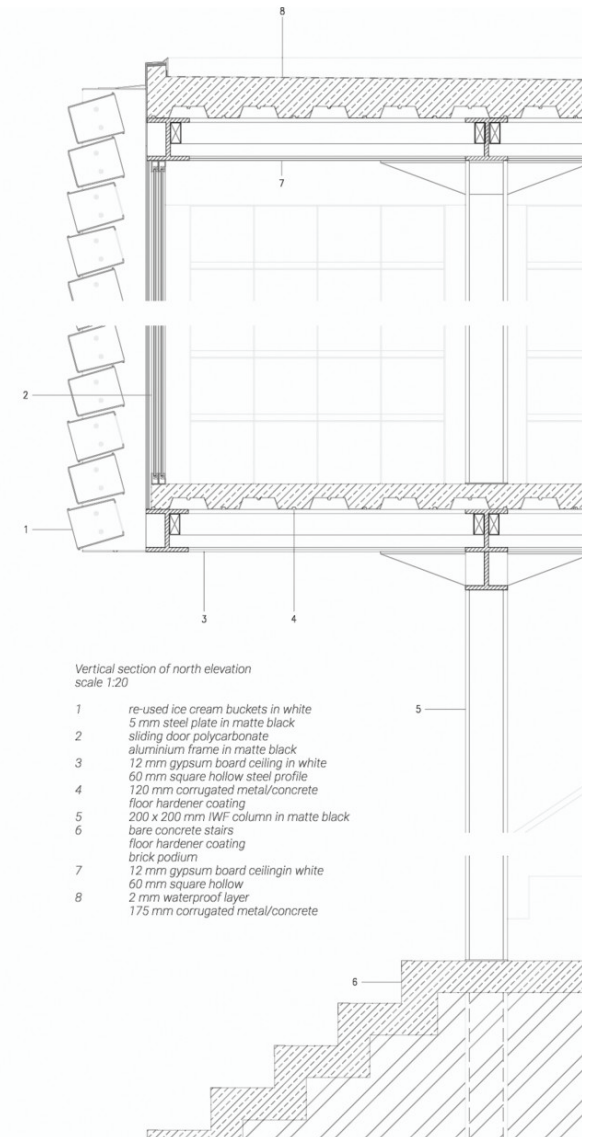


Figura 10.41: Pianta piano primo; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Rivestimento in vaschette di gelato
in plastica di recupero

Figura 10.42: Sezione trasversale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Vertical section of north elevation
scale 1:20

- 1 re-used ice cream buckets in white
- 2 5 mm steel plate in matte black
- 3 sliding door polycarbonate
- 4 aluminium frame in matte black
- 5 12 mm gypsum board ceiling in white
- 6 60 mm square hollow steel profile
- 7 120 mm corrugated metal/concrete
- 8 floor hardener coating
- 9 200 x 200 mm IWF column in matte black
- 10 bare concrete stairs
- 11 floor hardener coating
- 12 brick podium
- 13 12 mm gypsum board ceiling in white
- 14 60 mm square hollow
- 15 2 mm waterproof layer
- 16 175 mm corrugated metal/concrete

Figura 10.43: Sezione tecnologica;
Fonte: <https://www.baunetzwissen.de/>;

Ubicazione: A Pobra do Caramiñal, Spagna
 Anno di costruzione: 2012-2013
 Funzione: residenza
 Superficie: 389 mq
 Costo di costruzione: 843.400 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Dezanove House è un edificio residenziale realizzato con legno molto antico di recupero proveniente dai *bateas*, ovvero piattaforme in legno utilizzate in mare per l'allevamento di cozze e altri molluschi. Solitamente le piattaforme hanno una vita media di 25 anni dopodiché vengono dismesse e mandate in centri di riciclaggio o in discariche.

All'interno del progetto il legno ricavato dai *bateas* viene utilizzato in due differenti modi. Gli elementi lignei recuperati, infatti, vengono tagliati a metà per ottenere due differenti tipi di texture: la parte esterna del legno tagliato, quella un tempo a contatto con il mare e l'atmosfera, è stata utilizzata come rivestimento esterno della casa, mentre la parte interna, invece, è stata utilizzata negli ambienti interni come rivestimento del soffitto.

PRINCIPI PROGETTUALI

P8: Uso efficiente delle risorse

L'edificio è stato progettato per essere efficiente dal punto di vista energetico. La classe energetica A è stata raggiunta con un complesso sistema di ventilazione e altri impianti a bassi consumi energetici.



Figura 10.44: Il rivestimento in legno delle facciate esterne proviene dai *bateas*; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.45: Il rivestimento in legno del soffitto è ricavato dal taglio interno degli assi in legno dei *bateas*; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.46: Prospetto frontale con rivestimento in legno recuperato; Fonte: <https://www.10.aeccafe.com/>;

Ubicazione: Londra, UK
 Anno di costruzione: 2010
 Funzione: teatro
 Superficie: /
 Costo di costruzione: 22.400 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Il Jellyfish Theatre è un edificio realizzato con materiali di scarto e rifiuti di cantieri.

In particolare, sono stati impiegati vecchi sedili di teatri, legno recuperato da cantieri edili, pallet provenienti dal mercato londinese Covent Garden (circa 800 pallet in totale), vecchi pensili da cucina, principalmente portati sul sito dai residenti locali, oltre a pannelli MDF, compensato (circa 750 mq) e truciolo di recupero. Sono, inoltre, stati reimpiegati bocconi di plastica utilizzati precedentemente per gli erogatori di acqua, che permettono il passaggio della luce naturale. Per garantire stabilità, l'edificio è realizzato con una struttura metallica proveniente da ponteggi e impalcature.

La fase costruttiva è stata condotta senza un vero e proprio progetto: l'edificio si è generato attraverso l'assemblaggio, quasi completamente, casuale di oggetti di recupero e scarti che altrimenti sarebbero stati smaltiti in discariche.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Trattandosi di un edificio temporaneo, la costruzione è completamente disassemblabile a fine vita.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

I materiali utilizzati possono essere riciclati o riutilizzati a fine vita.



Figura 10.47: Vista dell'edificio;
 Fonte: <http://www.koebberlingkaltwasser.de/>;



Figura 10.48: Vista dell'interno in cui si notano gli elementi di recupero;
 Fonte: <http://www.koebberlingkaltwasser.de/>;

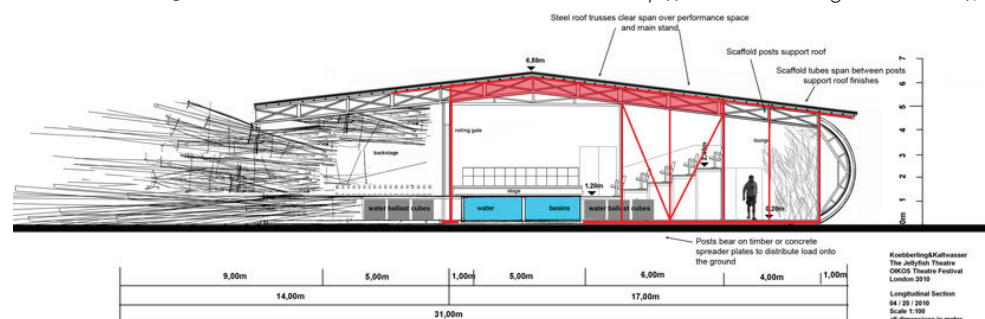


Figura 10.49: Sezione longitudinale; Fonte: <http://www.koebberlingkaltwasser.de/>;

Ubicazione: Dubai, Emirati Arabi Uniti
 Anno di costruzione: 2017
 Funzione: centro culturale
 Superficie: /
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Lo studio di boutique Fahed + Architects ha realizzato un padiglione temporaneo per Abwab 2017, l'evento principale della Dubai Design Week che espone i talenti dei designer provenienti da tutto il Medio Oriente, Nord Africa e Asia meridionale.

L'impegno per l'ambiente è al centro della filosofia di Fahed + Architects e per questo motivo la struttura è al 100% composta da materiale di recupero fornito dalla società di gestione dei rifiuti locale, Bee'ah. Durante una visita allo stabilimento gli architetti trovarono una notevole quantità di molle di materassi dismessi. Gli architetti, quindi, proposero al committente l'uso di questo materiale per la realizzazione del padiglione.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Il padiglione temporaneo è stato realizzato per essere completamente disassemblabile a fine vita.

P5: Materiale riciclabile o riutilizzabile

Le molle dei materassi utilizzate nel progetto possono essere riciclate a fine vita.

P7: Materiali locali

Le molle sono recuperate dal centro di gestione dei rifiuti di Dubai localizzato a circa 34 km dal Dubai Design District in cui sorge il padiglione.

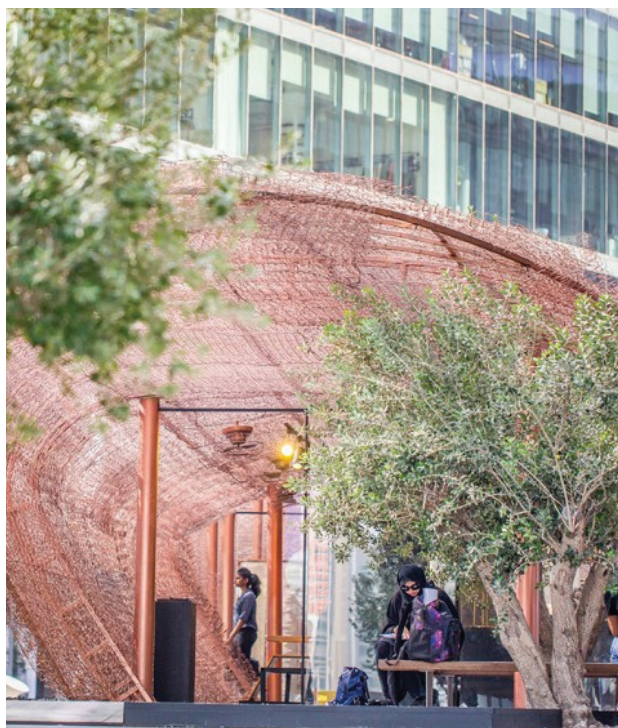


Figura 10.50: Vista del padiglione; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;



Figura 10.51: Vista dell'ingresso; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

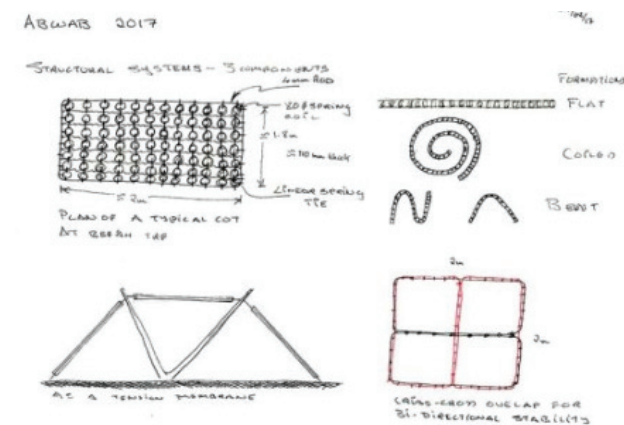


Figura 10.52: Studio di applicazione delle molle; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Jaureguiberry, Uruguay
 Anno di costruzione: 2016
 Funzione: scuola
 Superficie: 270 mq
 Costo di costruzione: 350.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori.

DESCRIZIONE

Una Escuela Sustentable è la prima scuola completamente ecosostenibile del paese costruita secondo i criteri della Earthship Bioteecture consolidati da Michael Reynolds. L'edificio è stato realizzato, in soli tre mesi, con 2.000 pneumatici, 3.000 bottiglie di vetro, 1.500 bottiglie di plastica, 12.000 lattine e 2.000 metri quadrati di cartone, abbinati a terra cruda e legno. L'edificio, in totale, è realizzato per il 60% da materiali recuperati, e per il 40% da materiali tradizionali.

Per costruire questa scuola sono giunti in Uruguay volontari da Londra, dalla Malaysia, dagli Usa, dal Canada e dall'America Latina e il governo di sinistra dell'Uruguay lo considera "un atto rivoluzionario".

PRINCIPI PROGETTUALI

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura sono installati pannelli solari e mulini a vento che rendono l'edificio completamente autosufficiente. E' inoltre presente un sistema di recupero delle acque piovane oltre ad una serra utile alla coltivazione di specie vegetali fruttifere e alla produzione di cibo.



Figura 10.53: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;



Figura 10.54: Realizzazione della struttura portante con pneumatici e realizzazione delle colonne in lattine di alluminio rivestite;
 Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;

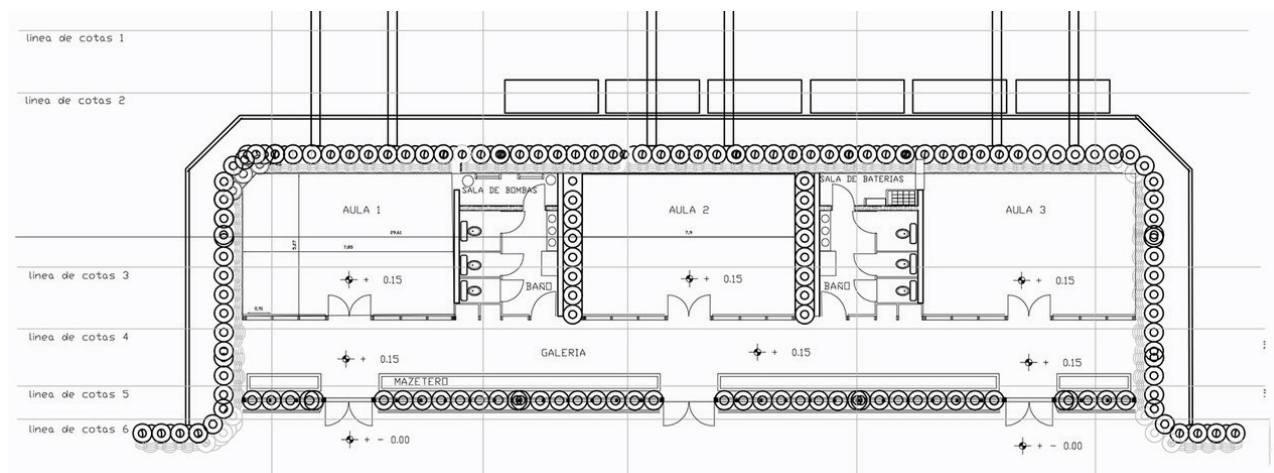


Figura 10.55: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/>;

Ubicazione: Lima, NY
 Anno di costruzione: 2013
 Funzione: residenza
 Superficie: 160 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti dal settore edile con stessa funzione rispetto all'origine

DESCRIZIONE

I committenti del progetto hanno chiesto ai progettisti di realizzare un'abitazione energeticamente efficiente e di inglobare alcuni materiali provenienti dal vecchio granaio dismesso e in stato di abbandono. Il progetto sorge a circa 105 km dal vecchio granaio che è stato smantellato, attraverso una demolizione di tipo selettivo, per poter recuperare alcuni materiali.

Il rivestimento esterno in legno del granaio, dopo essere stato lavorato in cantiere per ricavare degli assi, è stato riutilizzato come rivestimento esterno della nuova abitazione, così come alcuni elementi in legno che caratterizzavano l'intelaiatura della struttura del granaio sono stati reimpiegati come elementi strutturali del nuovo edificio (principalmente come travi). Inoltre, alcune finiture sono state ricavate da elementi lignei provenienti dal vecchio granaio tra cui il pavimento interno ed esterno, il tavolato dei soffitti, e il rivestimento interno delle pareti.

PRINCIPI PROGETTUALI

P7: Materiali locali

Tutti gli elementi recuperati provengono dal vecchio granaio distante circa 105 km dal sito di progetto.

P8: Uso efficiente delle risorse

L'abitazione è provvista di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico posto nelle vicinanze dell'edificio, e sono inoltre presenti pannelli solari, posti sulla copertura, utilizzati per riscaldare l'acqua e ridurre di conseguenza i consumi energetici.

CERTIFICAZIONI

Leed Platinum

Punteggio: non noto



Figura 10.56: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.insitearch.com/>;



Figura 10.57: Prospetto principale con individuazione degli elementi di recupero; Fonte: <https://www.insitearch.com/>;



Figura 10.58: Processo di selezione e lavorazione del materiale recuperato; Fonte: <https://www.insitearch.com/>;

Ubicazione: Ningbo, China
 Anno di costruzione: 2008
 Funzione: museo
 Superficie: 30.000 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti dal settore edile con stessa funzione rispetto all'origine

DESCRIZIONE

Gli elementi che caratterizzano il museo di storia di Ningbo sono le sue facciate, realizzate con una particolare texture che nasce dalla rielaborazione di tecniche costruttive storiche. Tali facciate sono per lo più realizzate con rivestimento composto da mattonelle di pietra e, in quantità minori, da tegole, entrambi elementi di recupero. La tecnica utilizzata è definita *wa pan*, ossia un metodo costruttivo di riuso dei materiali esistenti veloce ed economico, oggi utilizzato per lo più per ricostruzioni rapide a seguito di distruzioni causate da eventi naturali come tifoni o alluvioni.

Le murature, in cemento armato, sono rivestite da più di venti tipologie differenti di pietra, mattoni e tegole recuperati dalle demolizioni di antichi villaggi limitrofi.

PRINCIPI PROGETTUALI

P7: Materiali locali

I materiali di rivestimento sono reperiti localmente da villaggi posti nelle vicinanze del sito di progetto.



Figura 10.59: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.60: Vista dell'edificio rivestito con mattonelle e tegole di recupero; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Rivestimento realizzato con elementi di recupero secondo la tecnica del *wa pan*

Figura 10.61: Prospetto frontale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Panguipulli, Chile
 Anno di costruzione: 2008
 Funzione: residenza
 Superficie: 112 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti dal settore edile con stessa e differente funzione rispetto all'origine

DESCRIZIONE

La difficoltà di accesso al sito ha determinato la realizzazione del progetto in parti modulari in modo da essere trasportate con un camion di piccole dimensioni. Il desiderio del committente di adoperare materiali provenienti da edifici demoliti hanno spinto il progettista a incorporare elementi di recupero all'interno della nuova costruzione. Le porte vetrate di una casa degli anni '60 di Horacio Borgheresi che in origine appartenevano a un patio, sono diventate la facciata principale della nuova abitazione. I pavimenti in parquet di eucalipto e rauli nativo di una casa degli anni '70 di Larraín, Swinburn e Covarrubias, sono diventati il rivestimento principale dell'edificio.

Le travi lamellari e le travi di acciaio utilizzate per un'esposizione temporanea fanno ora parte dei principali elementi strutturali dell'edificio.



Figura 10.62: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.63: Il rivestimento del prospetto nord è realizzato recuperando il parquet di un'abitazione degli anni '70; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Le porte-finestre sono recuperate da un edificio degli anni '60

I travetti in legno lamellare e in acciaio provengono da una struttura di esposizione temporanea.

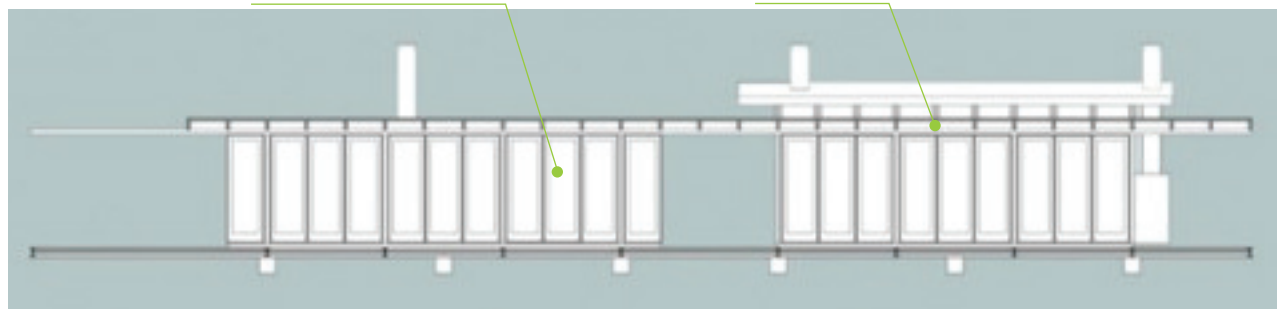


Figura 10.64: Prospetto sud; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Kamikatsu, Giappone
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: birrificio e ristorazione
 Superficie: 115 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori e da altri cantieri con stessa funzione

DESCRIZIONE

Il Kamikatz Public House è un birrificio con area bar, ristorazione, realizzato con materiali di riuso, impiegati soprattutto per le finiture e gli arredi interni. L'edificio è stato realizzato con elementi di legno provenienti dai cantieri della zona, così come la facciata principale è realizzata con vecchi infissi in legno recuperati da edifici locali abbandonati. Le pavimentazioni in pietra esterne derivano da scarti industriali di mattonelle in pietra grigia. Anche la maggior parte degli arredi interni sono elementi di recupero come: mobili e arredi ricevuti dall'ex ufficio comunale di Kamikatsu, lampade e scaffali ottenuti da attrezzi agricoli, casse di legno e oggetti recuperati al centro di riciclaggio della città, lampadari realizzati recuperando bottiglie di vetro colorate usate, e altri oggetti e arredi acquistati dalla gente locale che intendeva disfarsene.

"Kamikatz Public House" è un piccolo progetto di architettura a basso costo che abbraccia il grande sogno di contribuire a creare un sistema sociale sostenibile", spiega Hiroshi Nakamura, fondatore dello studio di Tokyo Nap architects.

PRINCIPI PROGETTUALI

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali e arredi di recupero possono essere riutilizzati o riciclati a fine vita.

P7: Materiali locali

I materiali e gli arredi dell'edificio sono stati tutti reperiti localmente.



Figura 10.65: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

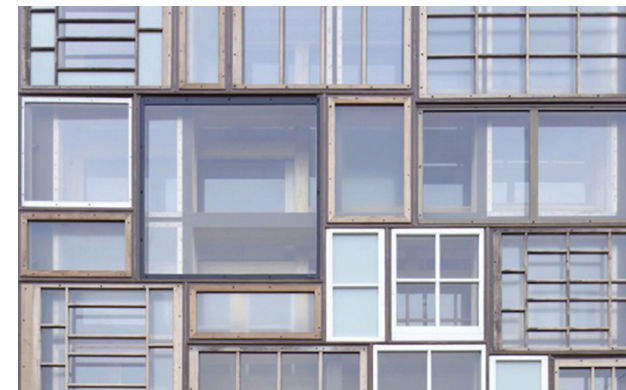
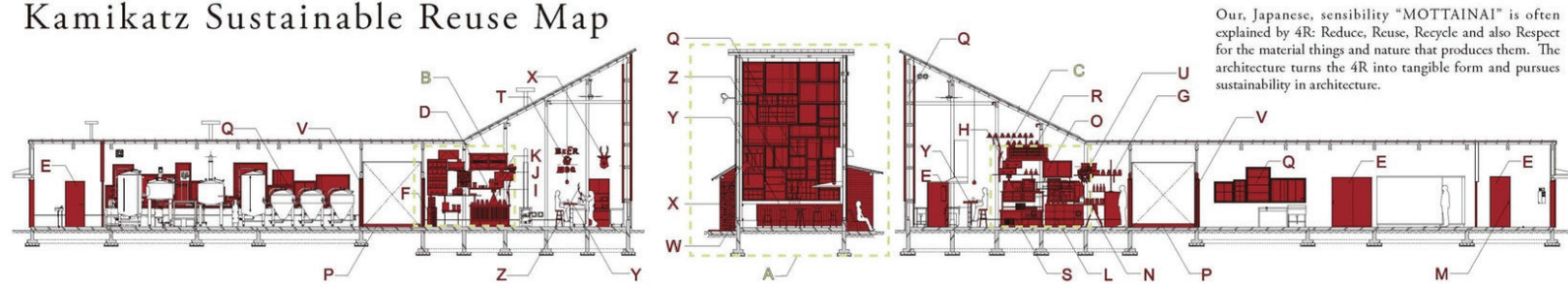


Figura 10.66: Dettaglio della facciata realizzata con infissi recuperati da edificio demoliti;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.67: Vista dell'interno con arredi realizzati con elementi di recupero;
 Fonte: <https://architizer.com/>;

Kamikatz Sustainable Reuse Map



Our, Japanese, sensibility "MOTTAINAI" is often explained by 4R: Reduce, Reuse, Recycle and also Respect for the material things and nature that produces them. The architecture turns the 4R into tangible form and pursues sustainability in architecture.

<p>D-F: Reuse of furniture and fittings received from former Kamikatsu town office</p>					<p>G-I: Reviving number of farm tools as lamp stands, shelves and others</p>	
<p>E: Reuse of a wooden door.</p>	<p>F: Reuse of a steel drawer.</p>	<p>H: Reuse of wooden boxes as shelves.</p>	<p>I: Old rice mill machines used as platforms to support the shelves.</p>	<p>J: Reuse of antique-looking boxes as display shelves.</p>		
<p>J-O: Reuse of discarded materials collected at the recycle center in the town of Kamikatsu.</p>	<p>K: Reuse of wooden boxes as display shelves.</p>	<p>L: Reuse of beer cases as store shelves.</p>	<p>M: Reuse after repair.</p>	<p>N: Reuse of an old farm tool that looks like a stepladder as a signboard.</p>	<p>O: Reuse of wooden TV table as store shelf by fixing it on the wall.</p>	<p>P: Grey brick tiles of industrial waste for the floor material.</p>
<p>Q: Though irregularly-shaped, their histories and memories make them precious and adorable.</p>	<p>R: Reused as blinds for air-conditioner.</p>	<p>S: Reused as store shelves.</p>	<p>T: Combined plastic letters used as a sign.</p>	<p>U: The chandelier with lampshades made of waste bottles.</p>	<p>V: Old doors from abandoned houses.</p>	<p>W: Firewood and logs gathered from the nearby forest.</p>
<p>R-S: Fixtures, formerly used as marriage gifts, acquired from local people.</p>	<p>X: Display of a stuffed deer head.</p>	<p>Y: Bar-top made of Japanese cedar from the town of Kamikatsu.</p>	<p>Z: Use of deer horns from the nearby forest as beer dispensers and returnable bottles.</p>	<p>Q: Differently shaped fittings used as the building materials.</p>	<p>R: Reused as blinds for air-conditioner.</p>	<p>S: Reused as store shelves.</p>
<p>P: Grey brick tiles of industrial waste for the floor material.</p>	<p>T: Combined plastic letters used as a sign.</p>	<p>U: The chandelier with lampshades made of waste bottles.</p>	<p>V: Old doors from abandoned houses.</p>	<p>W: Firewood and logs gathered from the nearby forest.</p>	<p>X: Display of a stuffed deer head.</p>	<p>Y: Bar-top made of Japanese cedar from the town of Kamikatsu.</p>
<p>R: Reused as blinds for air-conditioner.</p>	<p>S: Reused as store shelves.</p>	<p>T: Combined plastic letters used as a sign.</p>	<p>U: The chandelier with lampshades made of waste bottles.</p>	<p>V: Old doors from abandoned houses.</p>	<p>X: Display of a stuffed deer head.</p>	<p>Y: Bar-top made of Japanese cedar from the town of Kamikatsu.</p>
<p>Z: Use of deer horns from the nearby forest as beer dispensers and returnable bottles.</p>	<p>Q: Differently shaped fittings used as the building materials.</p>	<p>R: Reused as blinds for air-conditioner.</p>	<p>S: Reused as store shelves.</p>	<p>T: Combined plastic letters used as a sign.</p>	<p>U: The chandelier with lampshades made of waste bottles.</p>	<p>V: Old doors from abandoned houses.</p>
<p>W: Firewood and logs gathered from the nearby forest.</p>	<p>X: Display of a stuffed deer head.</p>	<p>Y: Bar-top made of Japanese cedar from the town of Kamikatsu.</p>	<p>Z: Use of deer horns from the nearby forest as beer dispensers and returnable bottles.</p>	<p>Q: Differently shaped fittings used as the building materials.</p>	<p>R: Reused as blinds for air-conditioner.</p>	<p>S: Reused as store shelves.</p>

Figura 10.68: Mappatura di tutti gli elementi riutilizzati; Fonte: <https://architizer.com/>;

Ubicazione: Llandoverly, UK
 Anno di costruzione: 2009
 Funzione: residenza
 Superficie: 175 mq
 Costo di costruzione: 302.700 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali edili provenienti da altri cantieri sia per stessa che diversa funzione rispetto all'origine.

DESCRIZIONE

Ty Pren è una casa passiva realizzata con materiali di recupero. L'edificio utilizza, infatti, materiale proveniente da edifici demoliti situati nella zona del sito di progetto, sia per la stessa funzione, sia per funzione differente rispetto a quella originaria.

In particolare l'edificio riutilizza tegole di ardesia recuperate dalle coperture di edifici demoliti selettivamente. In questo progetto, le tegole di ardesia sono riutilizzate sia come manto di copertura del tetto, sia come rivestimento esterno della facciata nord.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio, ad eccezione delle fondazioni, è assemblato a secco con sistemi a serraggio, che permettono la possibilità di decostruire i componenti.

P3: Building in layers

L'edificio è realizzato per layers differenti: rivestimento esterno, struttura, isolamento, intercapedine per impianti e rivestimento interno.

P4: Design for off site construction

La struttura dell'edificio è realizzata con pannelli SIP (Structural Insulated Panels) prefabbricati.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali, dopo la decostruzione, come le tegole, possono essere riusati o riciclati. Il rivestimento in legno di larice non trattato può essere riutilizzato o utilizzato come combustibile.

P7: Materiali locali

Le lastre di ardesia riusate provengono da edifici demoliti nella zona.



Figura 10.69: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.70: Vista complessiva dell'edificio sulla facciata nord rivestita con tegole di ardesia recuperate;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.71: Dettaglio della facciata con le tegole di ardesia utilizzate anche per la copertura;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

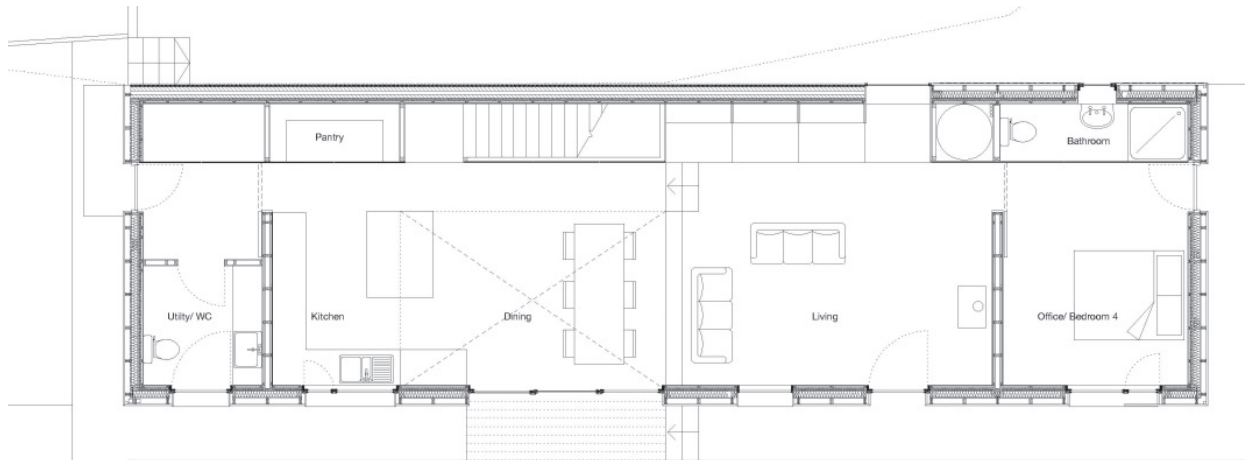
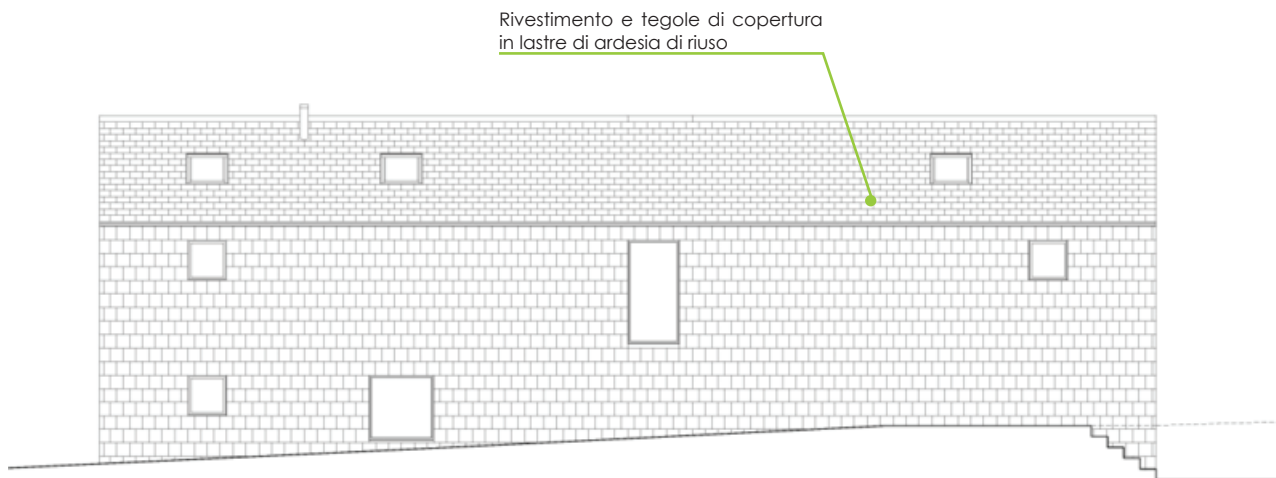


Figura 10.72: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Rivestimento e tegole di copertura
in lastre di ardesia di riuso

Figura 10.73: Prospetto nord; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

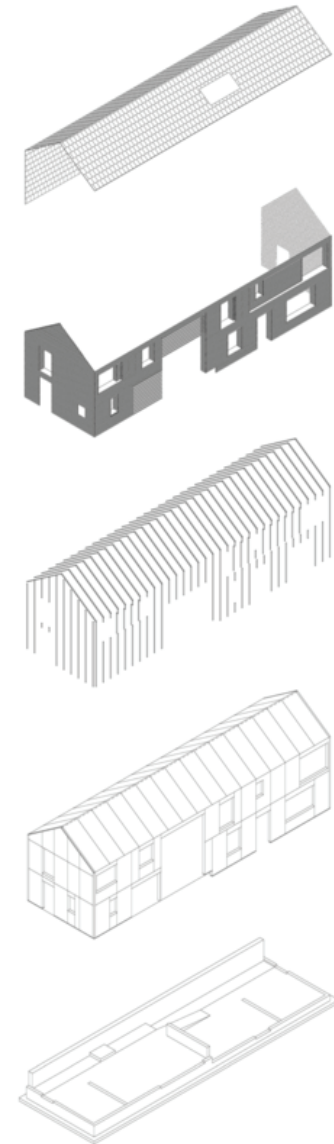


Figura 10.74: Esploso assometrico; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Nyborg, Danimarca
 Anno di costruzione: 2013
 Funzione: residenza privata
 Superficie: 129 mq
 Costo di costruzione: 228.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycle), e materiali di riuso provenienti dal settore edile con stessa funzione e materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Upcycle House è un progetto che dimostra come sia possibile realizzare un edificio con risorse limitate. Tutto l'edificio è, infatti, realizzato con materiale riciclato o di riuso. La struttura è realizzata con due container navali dismessi. La fondazione è realizzata con pali di recupero avvitati nel terreno. L'isolante contro terra è ottenuto da schiuma granulata di polistirolo riciclato da scatole per la frutta. I travetti del solaio contro terra e della copertura sono realizzati in legno con contenuto di riciclato. I pannelli OSB utilizzati nelle stratigrafie delle pareti derivano da scarti industriali. In alcune pareti sono state utilizzate taniche di plastica riusate e mattoni di recupero. L'isolante delle pareti, invece, è realizzato in lana di carta riciclata da vecchi giornali e con granuli di vetro. Anche gli infissi sono elementi di recupero. La struttura della copertura vanta, anch'essa, numerosi elementi di riuso e riciclo tra cui plastica riciclata e granulato di legno per il tavolato del patio, travetti in acciaio riutilizzati, pannelli ottenuti da carta riciclata post-consumo, e, infine, lastre in alluminio ottenuto dal riciclo di lattine di birra.

P7: Materiali locali

I materiali utilizzati nel progetto provengono da zone limitrofe per ridurre tempi, costi e consumi dovuti ai trasporti.

P8: Uso efficiente delle risorse

E' presente un impianto per il riciclo delle acque piovane e un sistema di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.



Figura 10.75: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.76: Rivestimento esterno in alluminio con contenuto di riciclato, pannelli OSB interni provenienti da scarti industriali;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.77: La parete in mattoni è realizzata con elementi di recupero così come gli infissi sono di riuso;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

PRINCIPI PROGETTUALI



Figura 10.78: La struttura portante è realizzata con due container navali dismessi; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.79: Alcune pareti interne sono realizzate con una struttura intelaiata in legno integrata a tuniche di plastica; Fonte: <http://www.rinnovabili.it/>;

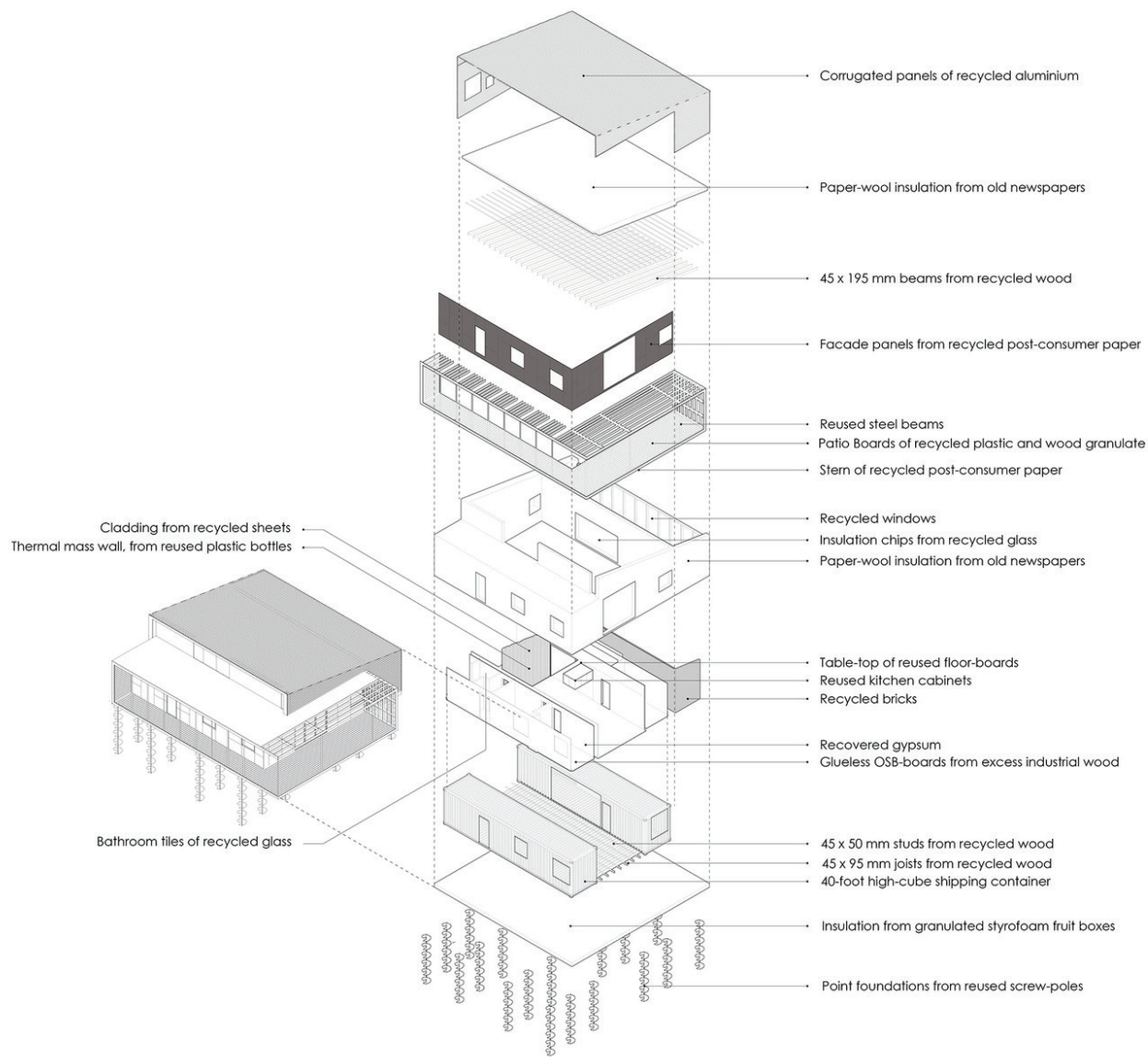


Figura 10.80: Esploso assometrico con individuazione degli elementi riciclati o riutilizzati; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Rotterdam, Olanda
 Anno di costruzione: 2009
 Funzione: residenza
 Superficie: /
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori e da altri cantieri (stessa funzione) e materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycle)

DESCRIZIONE

Villa Welpeloo è stata realizzata per il 60% con materiale di recupero o con contenuto di riciclato, e componenti di scarto provenienti principalmente da industrie locali e in parte da edifici limitrofi sottoposti a demolizione.

Il rivestimento esterno delle facciate è costituito da tavole di legno recuperato da circa 1.000 bobine utilizzate per l'avvolgimento di cavi. Da ogni bobina sono state ricavate circa 30 tavole. La struttura portante è realizzata in elementi in acciaio che provengono da un vecchio impianto tessile, mentre la struttura secondaria è realizzata con travetti di legno di recupero. Il tetto e i pavimenti sono realizzati con tavolato ligneo di recupero, mentre il vespaio è realizzato con conchiglie. Le pareti dei bagni sono realizzate con la *smile plastic*, ossia una plastica riciclata ottenuta a partire dalle tazzine in plastica da caffè. I vetri degli infissi provengono, in gran parte, da scarti di produzione di una vetreria locale, mentre l'isolamento termico delle chiusure perimetrali, in pannelli di polistirene, deriva da uno stabilimento che produce camper destinato alla demolizione. Anche alcuni arredi interni sono oggetto di recupero.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Il rivestimento esterno può essere disassemblato facilmente, così come la struttura in acciaio imbullonata può essere smontata.

P3: Building in layers

L'edificio è costruito per strati, specialmente il rivestimento esterno, la struttura e la controparete interna per il passaggio degli impianti.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali come il rivestimento esterno, i travetti di legno o la struttura in acciaio possono essere riutilizzati o riciclati a fine vita.

P7: Materiali locali

Tutti i materiali sono stati recuperati da stabilimenti, cantieri o altri siti, posti a una distanza massima di 15 km.



Figura 10.81: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <http://www.archilovers.com/>;



Figura 10.82: La struttura portante, ad eccezione delle fondazioni, è stata completamente realizzata con elementi di recupero;
 Fonte: <http://www.devoti.it/>;

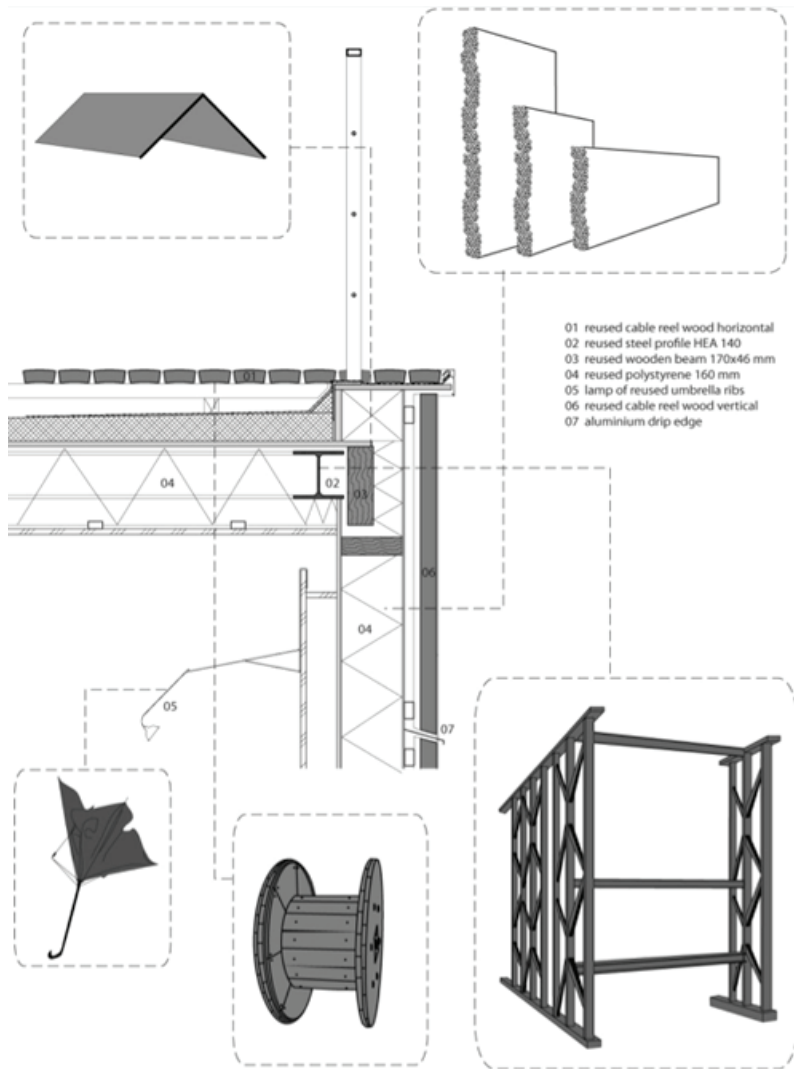


Figura 10.83: Dettaglio tecnologico con individuazione degli elementi recuperati; Fonte: <http://www.devoti.it/>;



Figura 10.84: Individuazione e localizzazione degli elementi di recupero utilizzati nel progetto; Fonte: <https://www.gooood.cn/>;

Ubicazione: Navi Mumbai, India
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: residenza
 Superficie: 520 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori, da altri cantieri (stessa funzione) e provenienti dallo stesso sito con diversa funzione

DESCRIZIONE

Collage House è un progetto realizzato con di materiali di recupero e di riuso. La facciata principale è realizzata con finestre in legno recuperate da edifici demoliti nella città, le murature in pietra del piano terra, che circondano la vasca per la raccolta dell'acqua piovana, sono realizzate con pietre e rocce recuperate dal terreno scavato durante la costruzione della casa. Nel cortile è presente una parete rivestita con scarti abbandonati di pietra recuperati da un sito di lavorazione e taglio della pietra. Un'altra parete, sempre nel cortile, è realizzata con scarti e avanzi di tubi in metallo disposti in modo da ricordare una parete fatta di canne di bambù, mentre dall'altro lato è presente un'altra parete rivestita da scarti di lamiera metallica.

Sulla copertura è presente un piccolo padiglione sorretto da pilastri rivestiti da colonne lignee antiche (con più di cent'anni) recuperate da un edificio demolito. All'interno, infine, è presente il pavimento in legno di teak recuperato da vecchie travi e arcarecci provenienti da altri edifici demoliti.

PRINCIPI PROGETTUALI

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Le pietre trovate nel terreno durante gli scavi sono state recuperate e riutilizzate nel progetto per le murature del piano terra.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura del padiglione sono presenti pannelli solari, mentre al piano terra è presente un bacino di raccolta dell'acqua piovana da 50.000 litri.



Figura 10.85: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.86: Vista del cortile interno con gli elementi di riuso utilizzati per rivestire le pareti: scarti di metallo e avanzi di tubi metallici;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.87: Vista dell'interno; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.88: Alcune finestre recuperate da edifici demoliti e riutilizzate per comporre la facciata principale;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

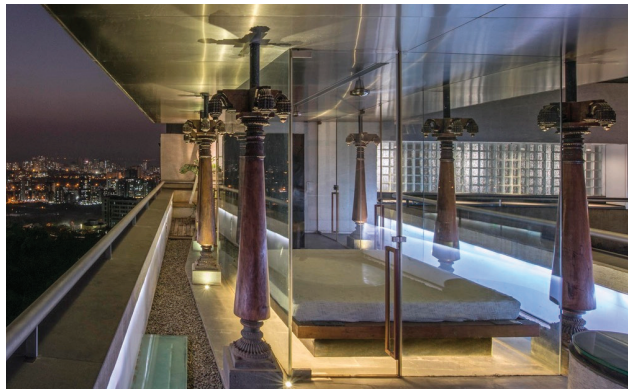


Figura 10.89: Le colonne antiche in legno recuperate da un edificio demolito rivestono i pilastri del padiglione posto sulla copertura;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

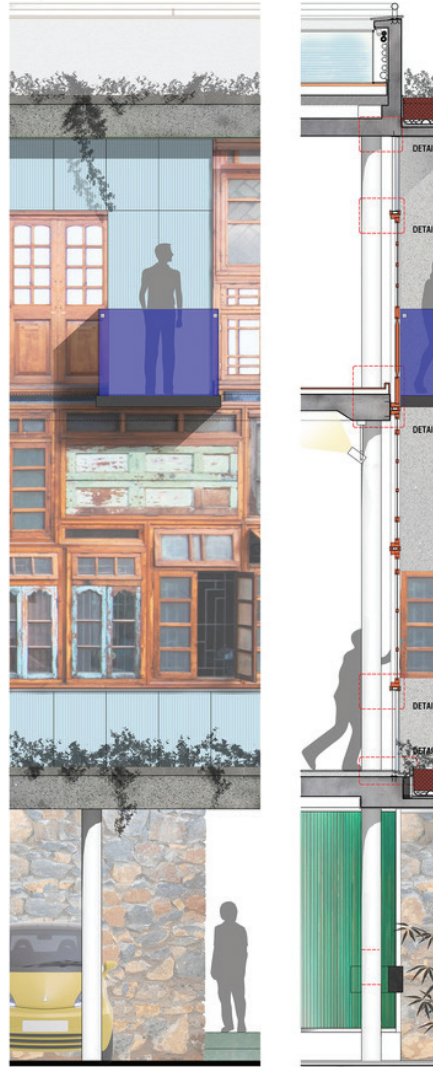


Figura 10.90: Prospetto e sezione tecnologica della facciata realizzata con infissi recuperati;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

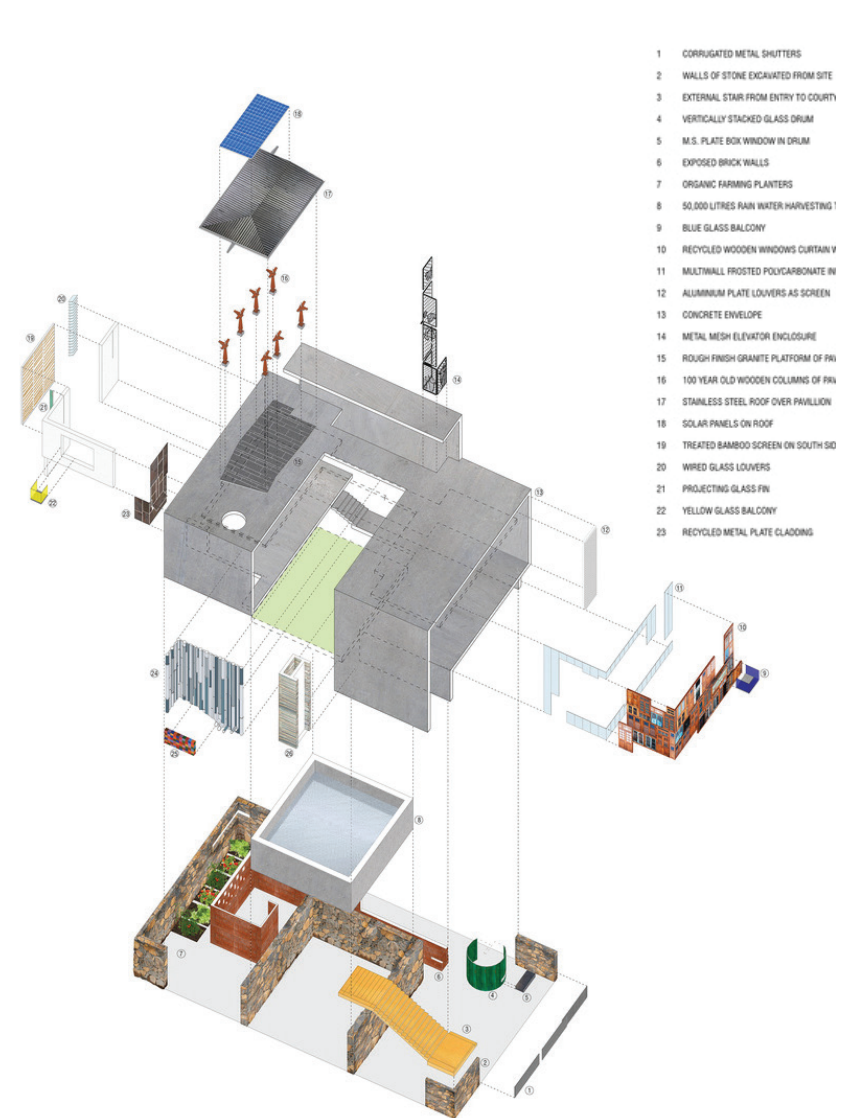


Figura 10.91: Esploso assometrico con identificazione degli elementi di riuso;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Brighton, UK
 Anno di costruzione: 2014
 Funzione: centro di ricerca
 Superficie: /
 Costo di costruzione: 157.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori e dal settore edile con diversa funzione rispetto all'origine, e materiali riciclati con valore minore e maggiore rispetto all'origine (downcycle e upcycle)

DESCRIZIONE

L'edificio è il risultato di un progetto sperimentale realizzato dagli studenti dell'Università di Brighton secondo il progetto dell'architetto e professore Baker-Brown. Tale edificio, che verrà poi utilizzato come campus di ricerca, workshop e laboratori, è realizzato per l'85-90% da rifiuti domestici e scarti edili provenienti da cantieri e demolizioni. La struttura è realizzata con un telaio in legno con elementi di recupero locali, le fondazioni sono realizzate in cemento con loppa d'altoforno, le pareti sono realizzate con scarti di gesso e laterizi recuperati da altri cantieri. Il rivestimento esterno è realizzato con 2.000 tappeti di gomma derivanti da un ufficio nella zona. L'isolante è ottenuto con rifiuti domestici, tra cui 4.000 video cassette, 4.000 DVD, due tonnellate di rifiuti da jeans e 20.000 spazzolini da denti, oltre a 7,2 metri cubi di polistirolo recuperato e 250 mq di isolante di riuso. La copertura è rivestita con una membrana riciclata da pneumatici.

PRINCIPI PROGETTUALI

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali possono essere riutilizzati a fine vita.



Figura 10.92: Vista dell'edificio; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;



Figura 10.93: Il rivestimento realizzato con tappetini provenienti da un vecchio ufficio; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

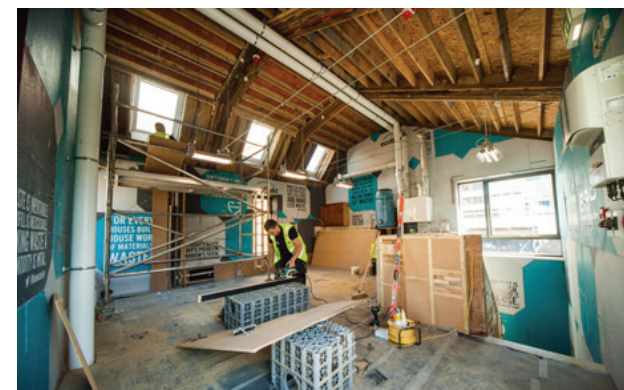


Figura 10.94: Vista durante la costruzione dell'edificio con materiali di recupero; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;



Figura 10.95: Alcune vecchie video cassette integrate nelle pareti perimetrali; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

Ubicazione: Córdoba, Argentina
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: luogo di culto
 Superficie: 92 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione nuovo edificio sullo stesso sito con riuso di materiali provenienti dall'edificio demolito con stessa funzione

DESCRIZIONE

Capilla San Bernardo è un edificio di culto costruito a seguito della demolizione del precedente edificio situato sullo stesso lotto.

Il lotto, infatti, era precedentemente occupato da una casa rurale successivamente smantellata e i mattoni centenari sono stati recuperati per poter essere nuovamente riutilizzati per la nuova costruzione. Il nuovo edificio è, quindi, realizzato totalmente con materiali recuperati dal precedente edificio: è infatti sprovvisto di energia elettrica, o altri tipi di forniture, ma è composto esclusivamente da mattoni. La luce naturale è l'unico elemento che prevale all'interno dell'edificio e con una serie di giochi di luci e ombre valorizza tutta la composizione architettonica del progetto.

PRINCIPI PROGETTUALI

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Tutti i mattoni derivanti dall'edificio demolito sono stati riutilizzati all'interno del nuovo progetto.

P7: Materiali locali

I mattoni sono stati recuperati dall'edificio demolito che occupava il sito.



Figura 10.96: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.97: I mattoni sono stati recuperati dall'edificio demolito che occupava precedentemente il sito e riutilizzati nella nuova costruzione; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.98: Vista interna dell'edificio; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

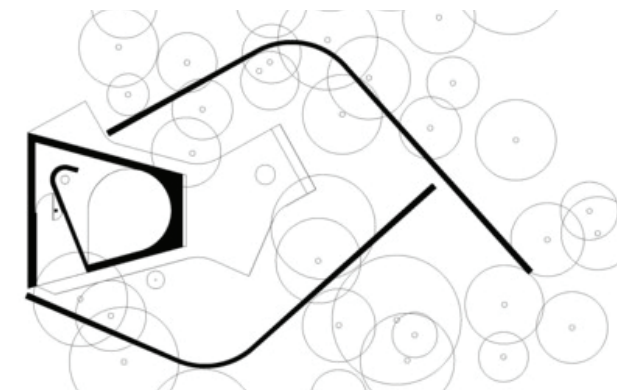


Figura 10.99: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: San Francisco, CA
 Anno di costruzione: 2008
 Funzione: museo
 Superficie: 125.000 mq
 Costo di costruzione: 435.000.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Demolizione totale e ricostruzione sullo stesso sito con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

DESCRIZIONE

La California Academy of Sciences è stata realizzata a seguito della demolizione della precedente accademia gravemente danneggiata a causa del terremoto del 1989. La struttura del nuovo edificio, invece, è stata realizzata impiegando 15.000 metri cubi di calcestruzzo riciclato, contenente per il 30% *fly ash* e per il 20% *cement slag*, e 5.000 tonnellate di acciaio con contenuto di riciclato, ovvero la quantità totale di acciaio utilizzata nell'edificio. L'isolante è stato realizzato con scarti di lavorazione e produzione industriale di jeans: include, infatti, per l'85% rifiuti e scarti pre-consumo.

PRINCIPI PROGETTUALI

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Il 90% dei rifiuti provenienti dal vecchio edificio demolito sono stati mandati in appositi centri di riciclaggio o riutilizzati, così come le 32 tonnellate di sabbia provenienti dagli scavi sono state riutilizzate nei progetti di rifacimento delle dune di Ocean Beach.

P7: Materiali locali

Almeno il 20% dei materiali utilizzati nell'edificio provengono da produzioni locali non molto di-

stanti dal sito, riducendo così gli impatti dovuti ai trasporti.

P8: Uso efficiente delle risorse

Il tetto verde contiene 60.000 cellule fotovoltaiche che producono circa 213.000 kWh/anno, ovvero circa il 10-15% del fabbisogno energetico necessario. L'acqua consumata per l'irrigazione delle piante deriva da serbatoi di recupero delle acque piovane. Anche l'acqua contenuta negli acquari è stata pensata per essere purificata tramite sistemi naturali. Rispetto all'edificio precedente, il nuovo edificio riduce i consumi di acqua di circa il 50%. L'edificio, inoltre, è stato progettato per sfruttare al meglio i principi della bioclimatica tra cui massimizzazione della ventilazione e dell'illuminazione naturale.

CERTIFICAZIONI

Leed v3 Platinum, 2011

Punteggio: 82/110

Il 50% del legno utilizzato, infine, deriva da foreste a gestione sostenibile con certificazione FSC.



Figura 10.100: Vista complessiva dell'edificio e del giardino esterno;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.101: Gli elementi della struttura portante in acciaio sono realizzati con contenuto di riciclato;
 Fonte: <http://www.notcot.com/>;

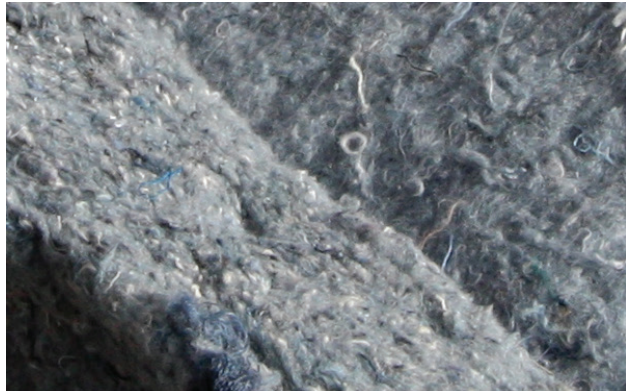


Figura 10.102: L'isolante è realizzato con riciclo di scarti industriali pre-consumo di blue jeans;
Fonte: <https://www.apartmenttherapy.com/>;



Figura 10.103: Viste dello spazio interno;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

La struttura portante è realizzata in calcestruzzo e acciaio con contenuto di riciclato

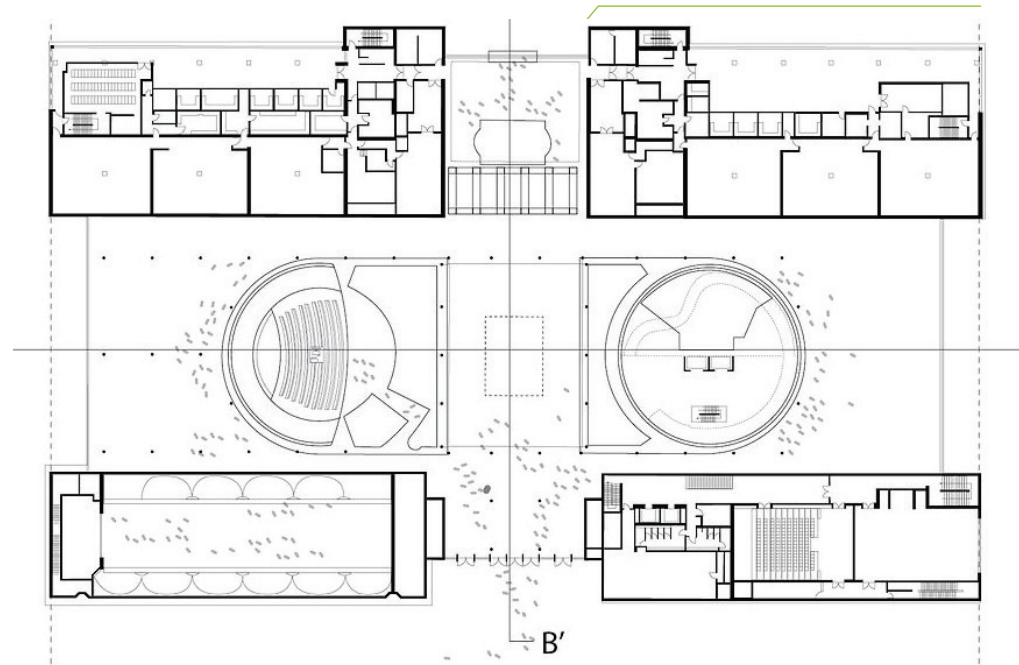
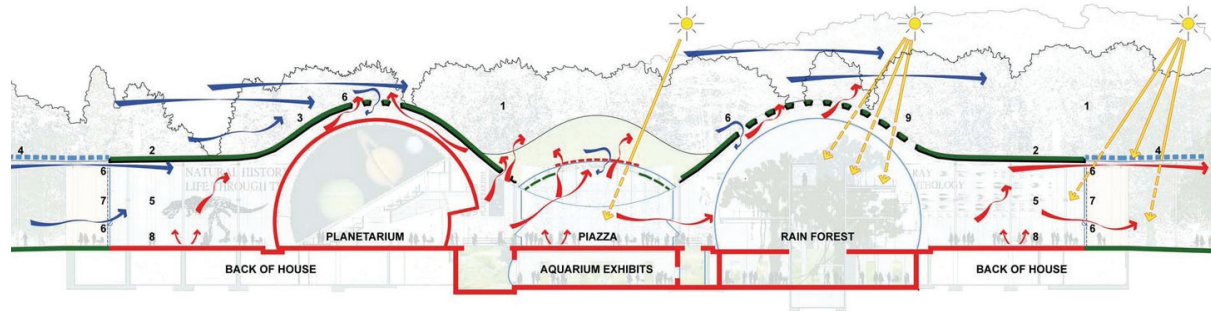


Figura 10.104: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



- | | | |
|---|--|----------------------------|
| 1 RESTORE ADJACENT PARK (NATURAL SHADOW) | 4 GLASS CANOPY WITH PHOTOVOLTAIC CELLS | 7 SUNSHADES |
| 2 GREEN ROOF (INSULATION & PASSIVE COOLING) | 5 CONCRETE WALLS (PASSIVE COOLING) | 8 RADIANT FLOOR |
| 3 ROOF GEOMETRY FAVORS "VENTURI EFFECT" | 6 OPERABLE VENTS AND SKYLIGHTS | 9 NATURAL LIGHT FOR PLANTS |

Figura 10.105: Sezione longitudinale; particolare attenzione è stata posta alla progettazione bioclimatica; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Petaling Jaya, Malaysia
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: residenza
 Superficie: /
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione sullo stesso sito con riuso di materiale proveniente dall'edificio demolito con differente funzione

DESCRIZIONE

Clay Roof House sorge su un sito precedentemente edificato. Siccome il vecchio edificio era irrecuperabile e i lavori di recupero sarebbero risultati troppo elevati, i committenti hanno deciso di demolire completamente la vecchia abitazione per ricostruire un nuovo edificio residenziale. Le tegole in terracotta sono state smantellate e recuperate dal vecchio edificio, prima di essere demolito completamente, e sono state impiegate nella nuova costruzione con una funzione differente da quella originaria: vengono utilizzate come frangisole grazie anche a una struttura metallica, a cui esse sono ancorate, che ne permette la rotazione e la regolazione in base alla luce solare.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Le tegole, avvitate alla struttura metallica di supporto, possono essere disassemblate.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Le tegole, una volta disassemblate, possono essere riusate o mandate a riciclaggio.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Le tegole provenienti dall'edificio demolito sono state reimpiegate nel nuovo edificio riducendo il volume dei rifiuti prodotti.

P7: Materiali locali

Le tegole provengono dall'edificio demolito, quindi sono elementi recuperati a km 0.



Figura 10.106: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.107: Dettaglio delle tegole riutilizzate provenienti dall'edificio demolito; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.108: Dettaglio della facciata principale caratterizzata dalle tegole frangisole di recupero; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

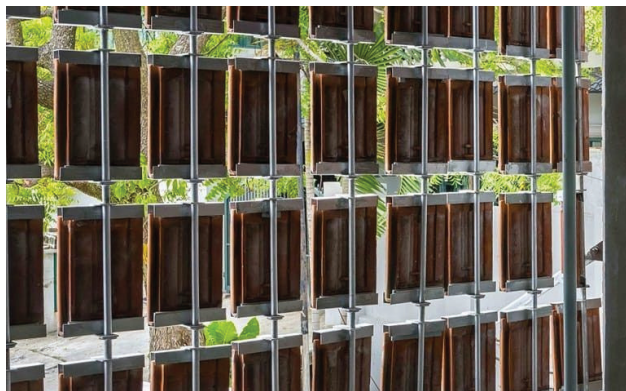


Figura 10.109: Le tegole sono ancorate a una struttura metallica che ne permette la rotazione. La struttura può essere smontata a fine vita;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

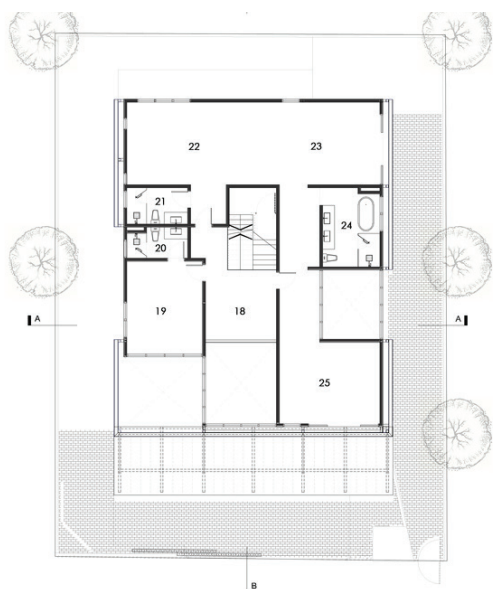


Figura 10.110: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

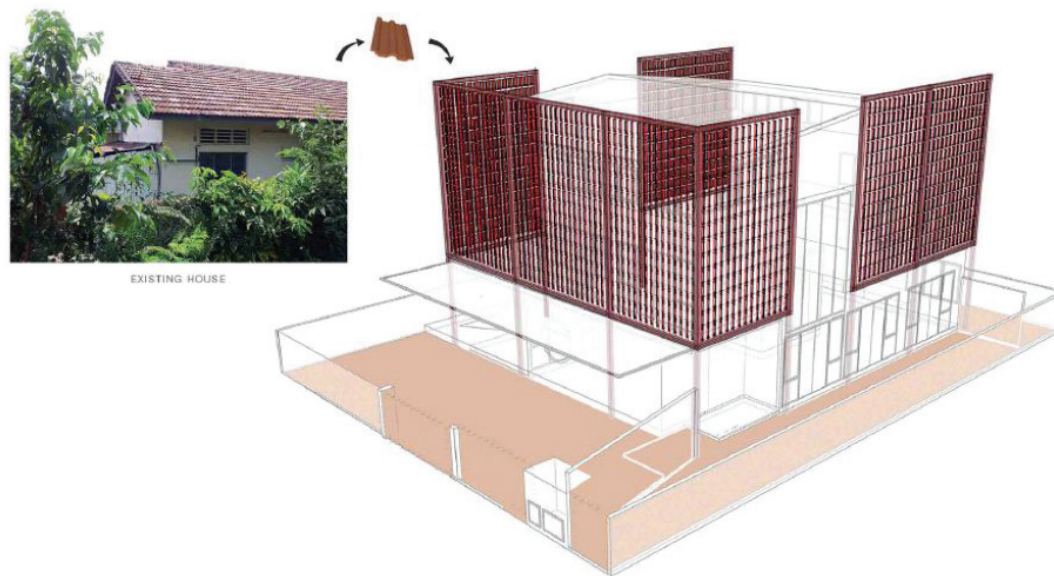


Figura 10.111: Riutilizzo delle tegole recuperate dall'edificio demolito; Fonte: Design and Architecture, 2016;

Le tegole riutilizzate come elementi frangisole nel nuovo edificio

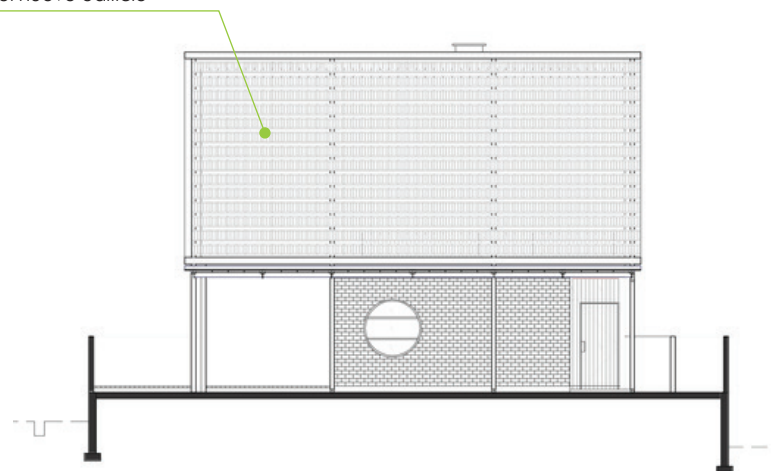


Figura 10.112: Prospetto principale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Jiangxi, China
 Anno di costruzione: 2012
 Funzione: scuola
 Superficie: 1096 mq
 Costo di costruzione: 63.400 €

E1	E2	E3	E4			
M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2

Demolizione e ricostruzione di nuovo edificio con riuso di materiali edili da altri siti con stessa funzione e riciclo di materiale con valore inferiore rispetto all'origine (downcycle)

DESCRIZIONE

Il nuovo complesso scolastico sorge su un sito precedentemente occupato da un altro piccolo edificio dismesso che è stato demolito per permettere la realizzazione del nuovo edificio.

Siccome molti edifici nel villaggio sono soggetti a demolizione e ricostruzione di nuovi edifici in cemento armato, l'intenzione degli architetti è stata quella di impiegare questi materiali di scarto di altri edifici nella costruzione del nuovo edificio scolastico, riutilizzandoli in maniera innovativa.

La copertura è composta da frammenti di mattoni e detriti riciclati dalla demolizione del precedente edificio, che ne aumentano così lo spessore e la massa termica. I detriti svolgono inoltre il ruolo di substrato naturale, adatto alla crescita spontanea di piante, muschio e licheni. La facciata sulla strada è, invece, realizzata con mattoni recuperati da diversi cantieri situati nei pressi del sito di cantiere. I mattoni, in parte, derivano da altri edifici demoliti e, in parte, sono reperiti da cumuli abbandonati di scarti edili in altri siti limitrofi.

PRINCIPI PROGETTUALI

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

I detriti prodotti dalla demolizione dell'edificio che occupava il sito in precedenza sono stati riciclati all'interno del nuovo progetto evitando il conferimento in discarica.

P7: Materiali locali

I frammenti sulla copertura derivano direttamente dai rifiuti prodotti dall'edificio demolito, mentre i mattoni sono recuperati da cantieri situati nelle vicinanze.

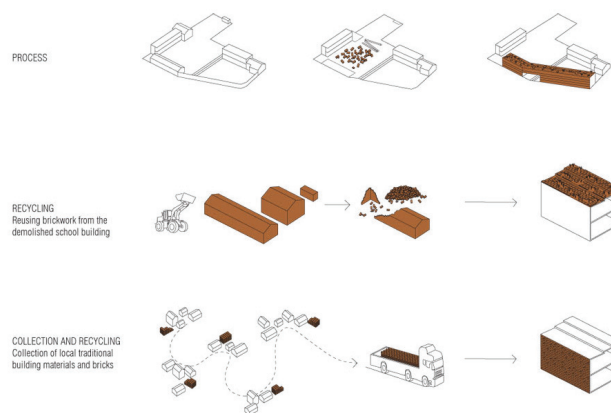


Figura 10.113: I detriti riciclati dall'edificio demolito sono stati utilizzati come inerti per la copertura, mentre le facciate sud, est e ovest sono realizzate con mattoni recuperati da altri edifici demoliti nella zona; Fonte: <https://divisare.com/>;



Figura 10.114: Vista complessiva dell'edificio; Fonte: <https://divisare.com/>;



Figura 10.115: Il prospetto sud, est e ovest sono realizzati con mattoni recuperati da altri edifici demoliti; Fonte: <https://divisare.com/>;

Ubicazione: Petaling Jaya, Malesia
 Anno di costruzione: 2012
 Funzione: residenza
 Superficie: /
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Demolizione totale e ricostruzione nuovo edificio con materiale riciclato con minor valore (downcycle) e riuso di materiale da edificio demolito con stessa funzione

DESCRIZIONE

Il nuovo edificio residenziale è stato costruito su un sito precedentemente occupato da una casa realizzata negli anni '60 del Novecento. Gli architetti decisero di incorporare nella nuova costruzione gran parte della quantità di materiali recuperati a seguito della demolizione del precedente edificio, riducendo così la quantità di rifiuti prodotta: le tegole in calcestruzzo, recuperate dalla copertura del vecchio edificio, sono state frantumate e riciclate come ghiaia di sottofondo di alcune pavimentazioni del nuovo edificio; gli antichi mattoni di argilla sono stati sottoposti a tecniche di pulitura e sono, successivamente, stati impiegati per le murature; il legno proveniente dalla copertura demolita è stato utilizzato per creare le casseforme per i getti di calcestruzzo del nuovo edificio, mentre il calcestruzzo, che costituiva il vialetto di ingresso della precedente casa, è stato frantumato e riciclato come aggregato per la realizzazione delle fondazioni. La porzione di pavimento in legno del piano terra è realizzata con legno di recupero.

PRINCIPI PROGETTUALI

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali nuovi utilizzati, come ad esem-

pio la lamiera metallica della copertura, sono riciclabili a fine vita.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Alcuni materiali provenienti dalla demolizione del precedente edificio sono stati reimpiegati nel nuovo progetto, mentre altri materiali, tra cui elementi metallici, sono stati rivenduti ad altri acquirenti evitando l'incremento di rifiuti da smaltire.

P7: Materiali locali

I materiali recuperati dalla demolizione dell'edificio sono reperiti a km 0.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura sono installate 15 turbine eoliche, pannelli fotovoltaici che generano 5 kWh di energia elettrica e pannelli solari per il riscaldamento dell'acqua. Sono, inoltre, presenti serbatoi per il recupero dell'acqua piovana utilizzata per gli scarichi del w.c. e per l'irrigazione del giardino.

CERTIFICAZIONI

Green Building Index (GBI), Platinum
 Punteggio: ≥ 86



Figura 10.116: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.117: I mattoni e il pavimento sono stati recuperati dall'edificio demolito e riutilizzati con la stessa funzione;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Houston, TX, USA
 Anno di costruzione: 2004
 Funzione: scuola
 Superficie: 18.023 mq
 Costo di costruzione: 50.000.000 €

E1	E2	E3	E4			
M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2

Demolizione totale e ricostruzione con uso di materiali riciclati (upcycle) e riuso di materiali edili provenienti da altri siti con stessa funzione

DESCRIZIONE

L'edificio è stato realizzato a seguito della demolizione dell'edificio precedente. Grande attenzione è stata posta ai materiali utilizzati nella costruzione del nuovo edificio: la struttura in cemento armato è realizzata con calcestruzzo contenente per il 48% aggregati riciclati (*fly ash*), una scelta che ha evitato l'emissione di circa 1.800 tonnellate di CO₂ in atmosfera. Il rivestimento esterno e gli infissi, entrambi in alluminio, sono realizzati con un alto contenuto di riciclato, circa il 95%. Il rivestimento esterno della base, invece, è realizzato con 120.000 mattoni recuperati dalla demolizione di un mattatoio ad Austin in Texas.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Alcuni materiali, come il rivestimento esterno in alluminio o in legno, possono essere decostruiti.

P2: Design for adaptability

Le partizioni interne sono rimovibili per garantire la flessibilità degli spazi interni e incrementare la vita utile dell'edificio.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

I materiali del rivestimento in alluminio e in legno possono essere nuovamente riciclati o riutilizzati.

P6: Gestioni dei rifiuti da C&D

Il 75% dei rifiuti totali prodotti durante la costruzione del nuovo edificio sono stati riciclati o riutilizzati. Le 4.753 tonnellate di rifiuti generati dalla demolizione selettiva del precedente edificio sono stati reimpiegati. Tra questi sono presenti 50.000 mattoni recuperati e 14,3 tonnellate di rivestimenti di soffitti.

P8: Uso efficiente delle risorse

I pannelli fotovoltaici, insieme a un'attenta progettazione della luce naturale, hanno portato a un risparmio totale del 40% sul consumo di energia elettrica in fase d'uso. La raccolta dell'acqua piovana permette il riuso di circa 3 milioni di litri l'anno per l'irrigazione del giardino e gli scarichi del w.c., contribuendo a un risparmio del 60% sui consumi di acqua.

CERTIFICAZIONI

LEED v2 Gold, 2009
 Punteggio: 39/69

Il legno utilizzato nel progetto è certificato FSC.



Figura 10.118: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

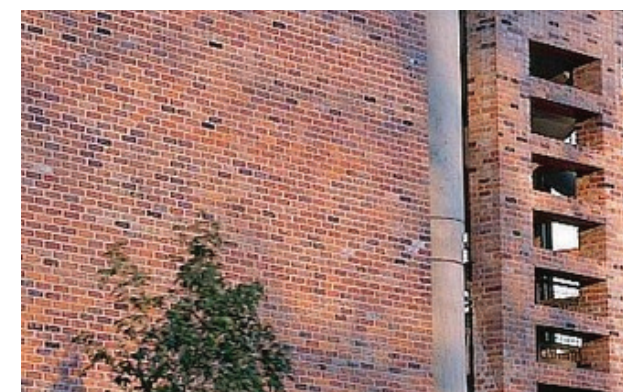


Figura 10.119: Particolare del rivestimento in mattoni di recupero;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

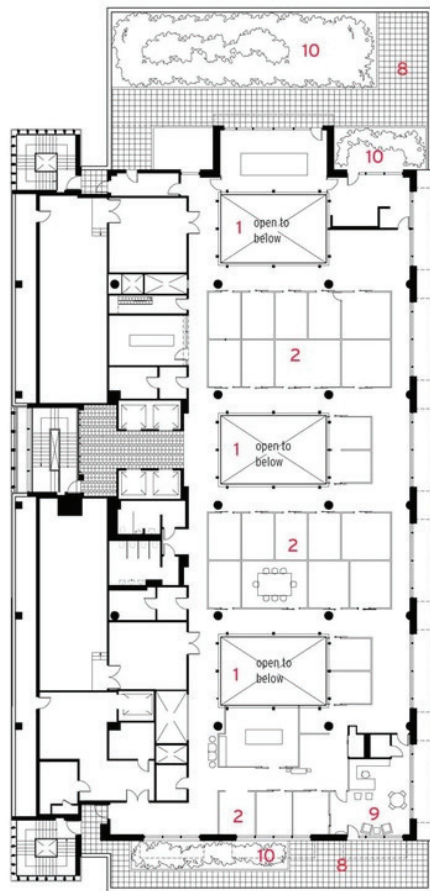


Figura 10.120: Pianta piano tipo; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

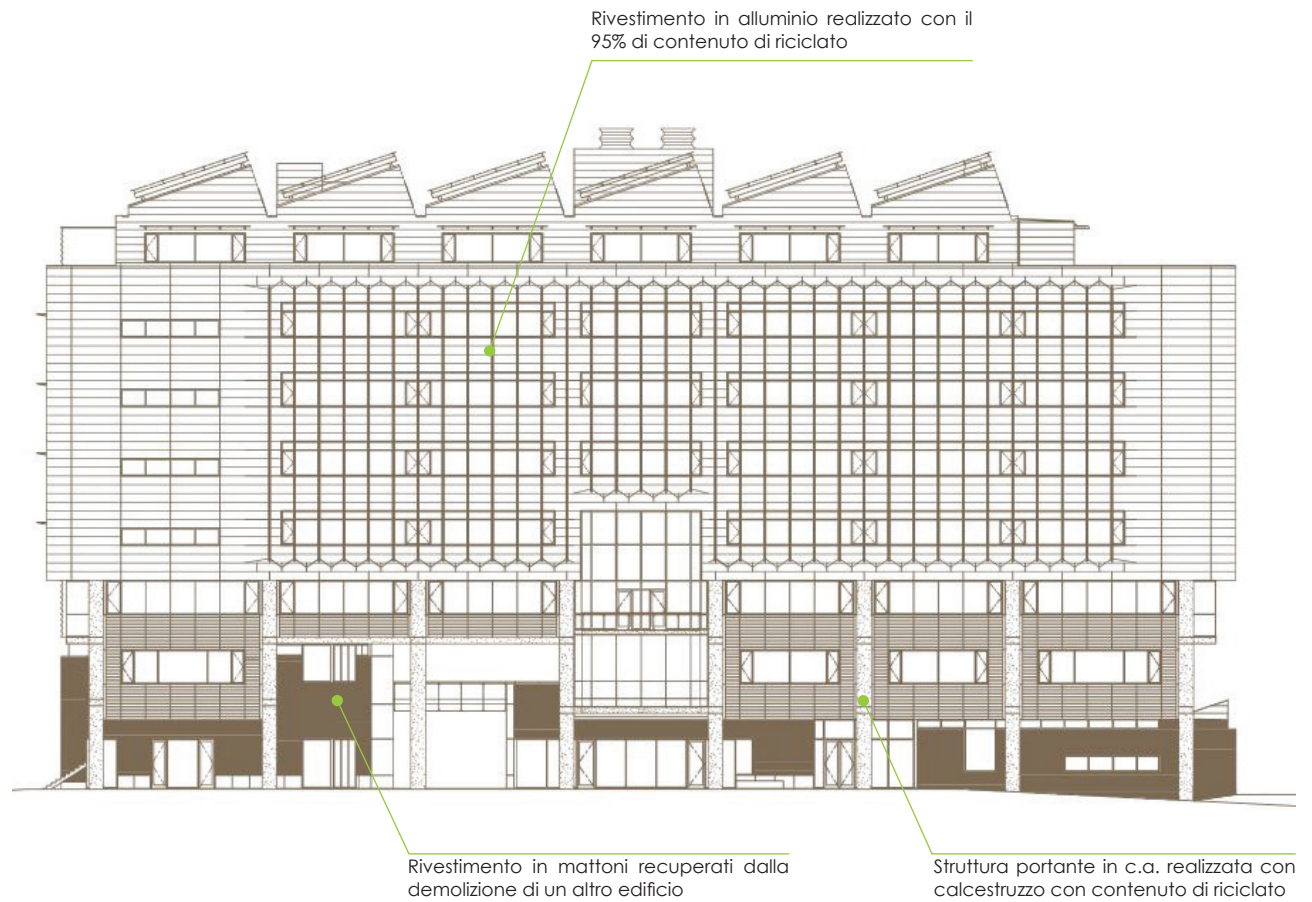


Figura 10.121: Prospetto principale; Fonte: <https://www.bnim.com/>;

Ubicazione: Seaside, CA, USA
 Anno di costruzione: 2006
 Funzione: scuola
 Superficie: 2.000 mq
 Costo di costruzione: 8.000.000 €



Demolizione totale e ricostruzione nuovo edificio con riuso di materiali provenienti da altri settori e dall'edificio demolito con stessa funzione, e riciclo di materiali con valore inferiore rispetto all'origine (downcycle)

DESCRIZIONE

Il campus scolastico sorge su un'area precedentemente occupata da una base militare dismessa e demolita selettivamente. I piani in legno delle panchine sono recuperati dalla decostruzione di tralicci di sostegno di viadotti della città di Sacramento; il rivestimento interno dei due edifici è in tavole di abete recuperate dalla demolizione delle pre-esistenti caserme, mentre il rivestimento esterno è recuperato grazie allo smantellamento di vecchie botti di vino ed olio. Il sottofondo delle fondazioni è stato riciclato dalla pavimentazione in calcestruzzo del precedente edificio.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Particolare attenzione è stata posta alla progettazione per la decostruzione: gli infissi, ad esempio, sono stati progettati per essere rimossi senza danneggiare le finiture interne, così come il rivestimento è stato realizzato per evitare il fissaggio con chiodi o viti e per facilitare la decostruzione.

P2: Design for adaptability

Per garantire una maggiore flessibilità e adattabilità degli spazi, specialmente delle aule scola-

stiche, sono state progettate delle partizioni interne rimovibili.

P3: Building in layers

L'edificio è progettato secondo livelli in modo da permettere la sostituzione o manutenzione dei singoli strati.

P4: Design for Off-Site Construction

I pannelli SIP della copertura sono stati prodotti in stabilimento e assemblati in cantiere.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Alcuni materiali sono riciclabili o riutilizzabili come i pannelli strutturali SIP della copertura, che sono rimovibili e riutilizzabili, così come il rivestimento esterno in legno.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

I rifiuti prodotti dalla demolizione delle pre-esistenze e quelli prodotti durante la costruzione del nuovo edificio sono stati riciclati o riusati al 90%.

P7: Materiali locali

I materiali recuperati dalla demolizione dell'edificio sono reperiti a km 0. I materiali nuovi sono stati prodotti localmente per il 20%.

P8: Uso efficiente delle risorse

L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici che producono più di 53 milioni di Wh all'anno coprendo totalmente il fabbisogno energetico dell'edificio. Sono, inoltre, presenti cisterne per il recupero dell'acqua piovana riutilizzata per gli scarichi del w.c.

CERTIFICAZIONI

Leed v2.1, Platinum, 2007
 Punteggio: 57/69

Il legno utilizzato nel progetto è certificato FSC.



Figura 10.122: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <http://www.ehdd.com/>;

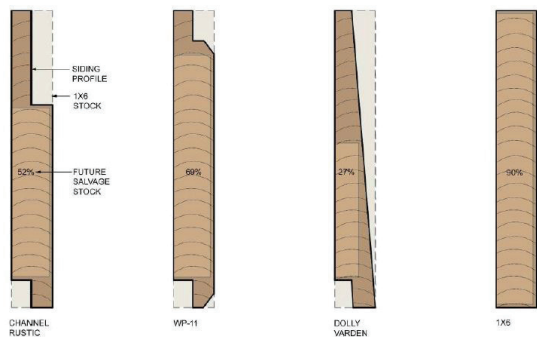


Figura 10.123: Studio di diversi tagli dei profili di rivestimento di recupero: l'ultima soluzione permette di mantenere interamente il materiale; Fonte: <http://www.tboake.com/>;



Figura 10.124: Il rivestimento esterno (sopra) e interno (sotto) sono stati studiati con un sistema di fissaggio che non danneggia le tavole di legno di recupero permettendo un totale disassemblaggio e riuso; Fonte: <http://www.tboake.com/>;

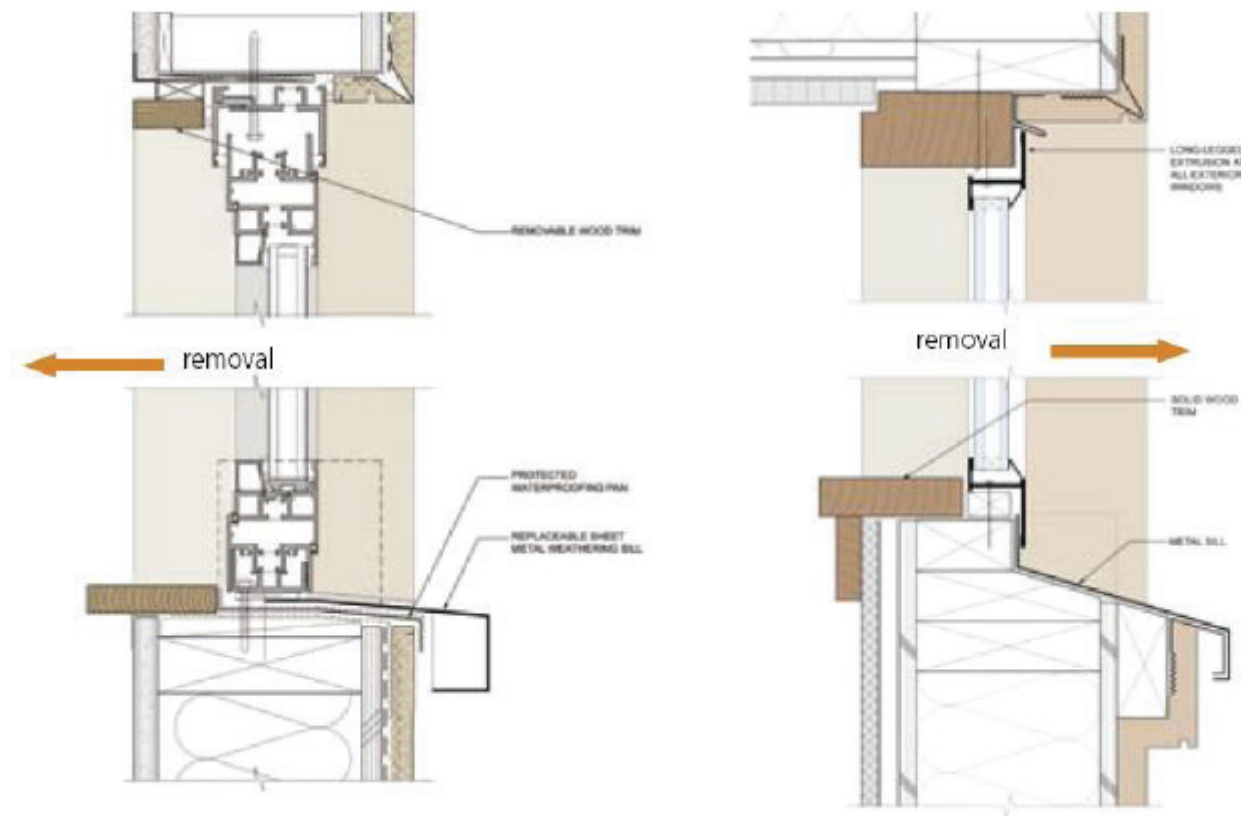


Figura 10.125: Dettaglio dei serramenti: il sistema studiato permette la rimozione completa del serramento senza danneggiare le finiture interne o esterne; Fonte: <http://www.tboake.com/>;

Ubicazione: Garston, UK
 Anno di costruzione: 1997
 Funzione: uffici
 Superficie: 1350 mq
 Costo di costruzione: 3.400.000 €

E1	E2	E3	E4			
M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2

Nuova costruzione con materiali riciclati con minore e maggiore valore (up e downcycle), riuso di materiali provenienti dal settore edile con stessa funzione e riuso di materiali da edificio demolito con stessa funzione

DESCRIZIONE

L'intervento ha preso avvio con la demolizione totale dell'edificio pre-esistente. I 20.000 mattoni recuperati dalla demolizione selettiva sono stati frantumati e riciclati come massiccata per il nuovo edificio. La malta di cemento che legava i mattoni, infatti, ha reso impossibile il recupero degli elementi per la stessa funzione. Altri materiali come tegole in ardesia, lamiera ondulata per coperture, pluviali e grondaie in ghisa, sono stati riutilizzati nella nuova costruzione. Il nuovo edificio è rivestito con 80.000 mattoni forniti da un commerciante di materiali di recupero, tuttavia, il costo complessivo dei mattoni di recupero è risultato maggiore rispetto all'uso di mattoni nuovi. Sono stati inoltre impiegati 300 mq di pavimenti in legno di recupero proveniente da un altro cantiere. Il calcestruzzo utilizzato nel nuovo edificio per fondazioni, solai e pilastri è realizzato con inerti riciclati provenienti dalla demolizione di un altro edificio; la loppa d'altoforno è stata utilizzata al posto del cemento.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Alcuni elementi, come ad esempio i ballatoi e le scale interne, sono progettati per essere com-

pletamente disassemblabili.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Alcuni materiali ed elementi sono stati riusati o riciclati nel nuovo edificio. In generale, il 96% dei rifiuti prodotti dalla demolizione del precedente edificio è stato riutilizzato o mandato al riciclaggio.

P7: Materiali locali

Gli 80.000 mattoni sono stati acquistati a una distanza minore di 100 km; gli inerti riciclati per il calcestruzzo del nuovo edificio sono stati prelevati dalla demolizione di un edificio posto a 20 km di distanza.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla facciata sud dell'edificio sono installati 47 mq di pannelli fotovoltaici che contribuiscono a produrre energia elettrica utilizzata nell'edificio.

CERTIFICAZIONI

BREEAM Excellent
 Punteggio: ≥ 70%



Figura 10.126: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://fcbstudios.com/>;



Figura 10.127: Vista dello spazio interno con le scale e ballatoi disassemblabili e mattoni di riuso; Fonte: <http://projects.bre.co.uk/>;

Ubicazione: Parma, Italia
 Anno di costruzione: 1996-2001
 Funzione: edificio pubblico
 Superficie: 130.000 mq
 Costo di costruzione: 3.500.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti. Il mantenimento dell'esistente è di circa l'80%

DESCRIZIONE

L'auditorium Niccolò Paganini è stato realizzato in seguito alla riconversione delle strutture industriali dell'ex zuccherificio Eridania, situate in una zona vicino al centro storico della città. L'edificio principale, lungo 90 m, adibito un tempo a contenere i macchinari per la lavorazione dello zucchero, è un struttura rettangolare in muratura con copertura sorretta da capriate metalliche. Tale struttura è dotata naturalmente di buona acustica, fattore che ha certamente favorito la sua riconversione in auditorium. Gli altri fabbricati invece, sono stati adattati a servizi accessori e a sale prove. Caratteristica del progetto è stata la decisione dell'architetto di abbattere le pareti trasversali e sostituirle con ampie vetrate. L'architetto ha utilizzato una serie di accorgimenti per creare una condizione acustica ottimale: il controsoffitto svolge un'azione assorbente, mentre i pannelli acustici in legno e vetro riflettono il suono in tutto l'ambiente.



Figura 10.128: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <http://www.archidiap.com/>;



Figura 10.129: Vista dell'interno dell'ex fabbrica convertita in auditorium;
 Fonte: <http://www.archidiap.com/>;

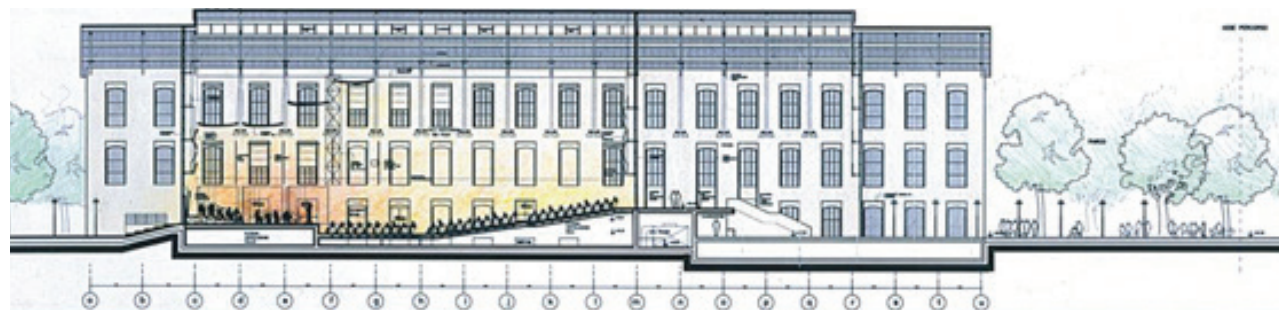


Figura 10.130: Sezione longitudinale; Fonte: <http://www.archidiap.com/>;

Ubicazione: Napoli, Italia
 Anno di costruzione: 2012-2013
 Funzione: uffici e servizi
 Superficie: 27.000 mq
 Costo di costruzione: 30.000.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti. Il mantenimento dell'esistente è di circa il 40%

DESCRIZIONE

Brin 69 è l'intervento di riconversione di un capannone dei primi anni del '900 della ex industria metallica manifatturiera Mecfond nella parte est di Napoli. Obiettivo del progetto è la creazione di un'immagine nitida e forte, contemporanea, legata alla memoria del tempo (la fabbrica con il suo impianto geometrico rigoroso). La struttura portante originaria, di acciaio, con pilastri reticolari e capriate di copertura, è stata recuperata, verniciata per donarle nuova vita e adeguata ai requisiti antincendio. A quello preesistente è stato poi affiancato un ulteriore sistema strutturale, composto da elementi sempre di acciaio, in modo da consentire l'adeguamento sismico e il soddisfacimento statico delle esigenze derivanti dai nuovi volumi edificati. Il sistema di copertura è realizzato in pannelli metallici poggianti su lamiera grecate di acciaio. Le pareti di tamponamento opache sono costituite da sistemi stratificati a secco, con rivestimenti in lamiera metallica o pannelli in rete stirata di alluminio e acciaio inox.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

La struttura in acciaio aggiunta all'esistente è di-

sassemblabile a fine vita.

P2: Design for adaptability

Gli uffici sono stati progettati con partizioni interne rimovibili in modo da permettere la flessibilità e l'adattabilità dello spazio interno.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Gli elementi in acciaio possono essere riutilizzabili o riciclabili a fine vita.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sono presenti vasche di raccolta dell'acqua piovana, riutilizzata all'interno dell'edificio, e dispositivi di captazione dell'energia solare in copertura.



Figura 10.131: Vista dell'edificio;
 Fonte: <https://www.arketipomagazine.it/>;



Figura 10.132: Vista dello spazio interno prima dell'intervento;
 Fonte: Arketipo, 2016;



Figura 10.133: Vista dello spazio interno dopo l'intervento;
 Fonte: Arketipo, 2016;

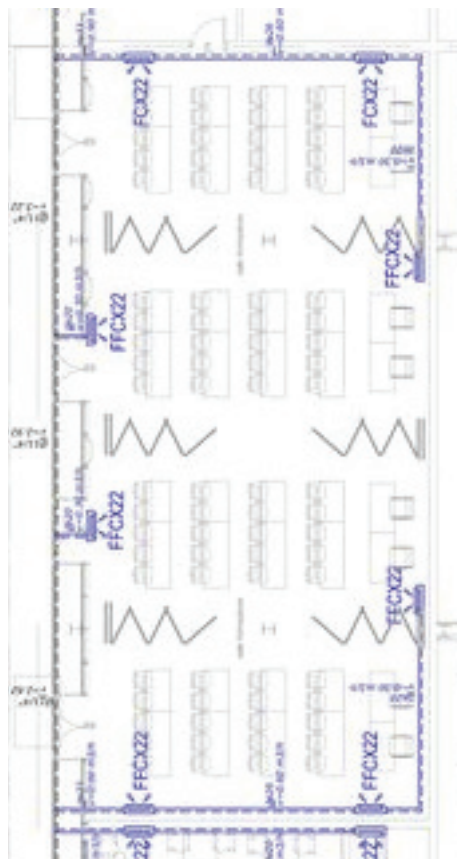


Figura 10.134: Planimetria di un ufficio con presenza di partizioni interne rimovibili. Lo spazio totale, in questa configurazione, può essere suddiviso in quattro spazi di dimensioni minori;
 Fonte: <https://www.vulcanicaarchitettura.com/>;

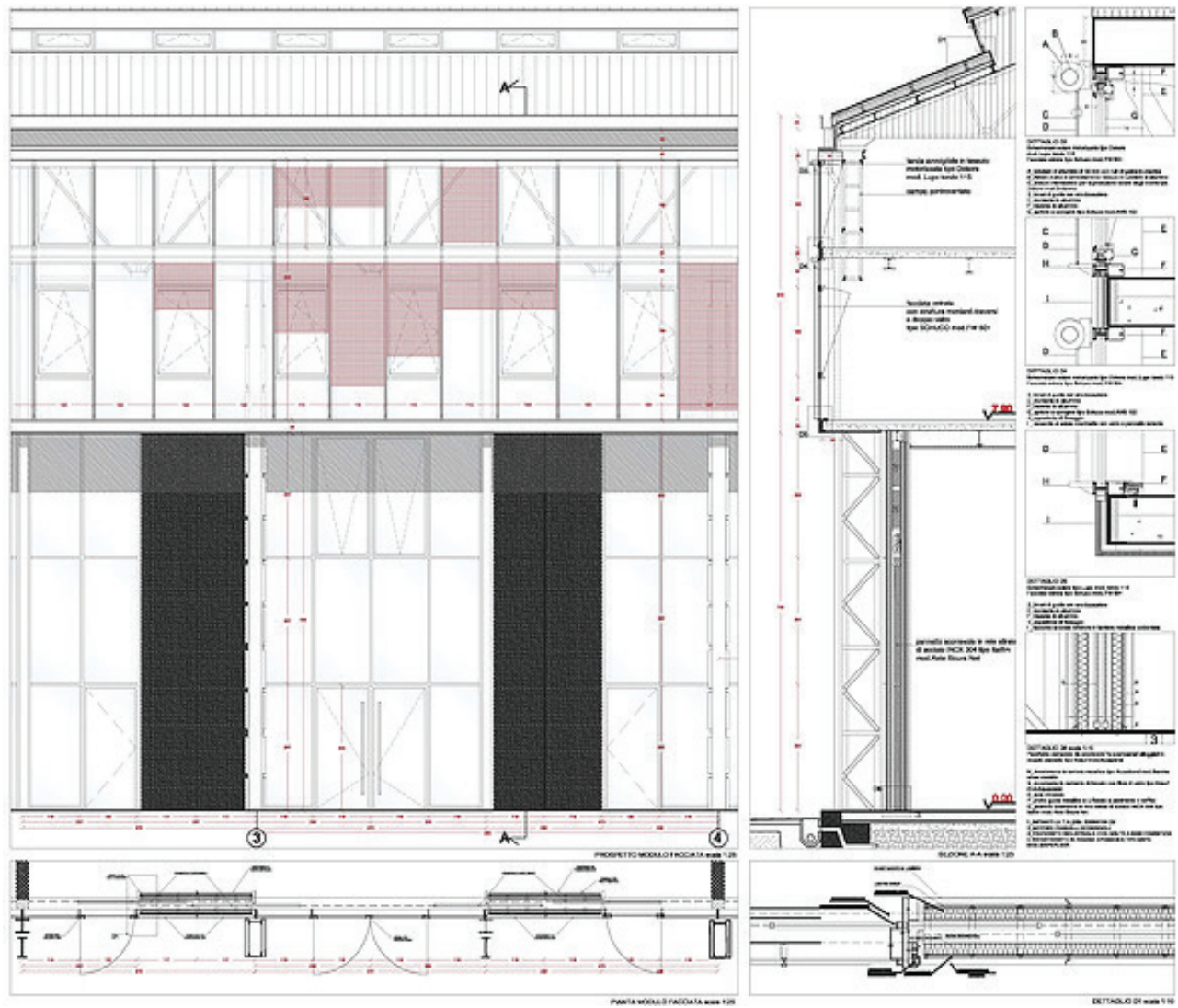


Figura 10.135: Prospetto, pianta e sezione tecnologica e dettagli costruttivi; Fonte: <https://www.vulcanicaarchitettura.com/>;

Ubicazione: Alicante, Spagna
 Anno di costruzione: 2012
 Funzione: centro culturale
 Superficie: 3.100 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti. Il mantenimento dell'esistente è di circa il 90%

DESCRIZIONE

La nuova sede centrale di Casa Mediterraneo, istituzione diplomatica impegnata a promuovere l'identità comune dei paesi mediterranei, è collocata all'interno della vecchia stazione ferroviaria di Benalua, ad Alicante. Lo spazio principale longitudinale di 1.500 mq è destinato a diventare una sala di eventi ed incontri. Il progetto ha previsto il mantenimento della grande struttura originaria della stazione che copriva i binari, con l'aggiunta di una nuova sottostruttura di copertura realizzata in alluminio e con un materiale traslucido blu, che filtra la luce solare in entrata, la quale, dopo aver attraversato un reticolo con motivi circolari, colora le vecchie pareti e il pavimento, inondando lo spazio e trasformandolo in un mare di ombre blu.

Il programma convenzionale è inserito in una serie di piccoli padiglioni disseminati lungo i corridoi perimetrali. Questi sono attrezzati, climatizzati e consentono a qualsiasi lavoratore o osservatore di godere e comprendere la struttura e lo spazio originale. Il resto dell'edificio, invece, non è climatizzato. Sebbene protetti, gli spazi non sono chiusi, consentendo un flusso costante di aria fresca all'interno. I pavimenti sono di sabbia compatta.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

I padiglioni posti nelle aree perimetrali sono progettati per essere disassemblabili.



Figura 10.136: Vista dell'ex stazione ferroviaria recuperata;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.137: Vista di un padiglione;
 Fonte: <http://www.manuelocana.com/>;

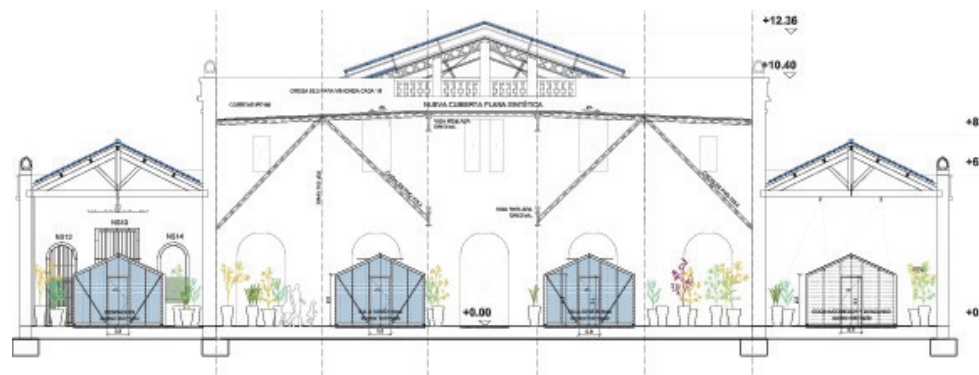


Figura 10.138: Sezione trasversale; Fonte: <http://www.manuelocana.com/>;

Ubicazione: Copenhagen, Danimarca
 Anno di costruzione: 2001-2005
 Funzione: residenza
 Superficie: 10.700 mq
 Costo di costruzione: 17.800.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti
 Il mantenimento dell'esistente è di circa il 90%

DESCRIZIONE

Gemini Residence è un progetto di recupero e conversione in edifici residenziali dei Frøsilos, due ex silos gemelli dell'Islands Brygge, elegante quartiere residenziale sul lungomare di Copenhagen.

Originariamente costruiti nel 1963, i silos rimasero in attività fino alla loro chiusura negli anni '90 e per l'area fu prevista, quindi, la conversione in edifici residenziali e uffici, iniziata nel 2002 e completata nel 2005. Il progetto di questi edifici nasce sicuramente dalle limitazioni strutturali dei silos in cemento. Collocando gli appartamenti all'interno dei silos, si sarebbero ottenute abitazioni scarsamente illuminate, a causa dei pochi fori realizzabili nelle pareti consumate dal tempo; ciò ha spinto i progettisti a realizzare delle cellule abitative che si dispongono sul perimetro esterno delle strutture mantenute, mentre gli interni sono destinati ai servizi e alle scale di distribuzione dei piani.



Figura 10.139: Prima e dopo l'intervento;
 Fonte: <https://www.mvrdiv.nl/>;



Figura 10.140: Vista dell'interno del silo dopo l'intervento;
 Fonte: <https://www.mvrdiv.nl/>;

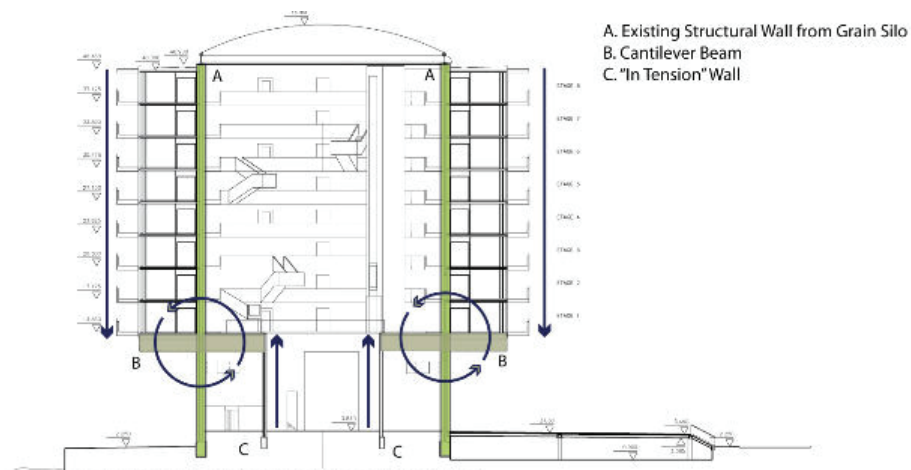


Figura 10.141: Sezione longitudinale; Fonte: <https://www.architetturaecosostenibile.it/>;

Ubicazione: Leszno, Polonia
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: residenza per anziani
 Superficie: 8.928 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti. Il mantenimento dell'esistente è di circa il 70%

DESCRIZIONE

L'intervento ha comportato il restauro e l'ampliamento di tre ex edifici agricoli sul maniero di Leszczyński Antoniny e la costruzione di un nuovo edificio, al fine di convertirlo in un complesso residenziale dedicato agli anziani.

La principale sfida progettuale consisteva nel convertire tutti gli edifici in un complesso coerente e assegnare a ciascun edificio le diverse funzioni necessarie. A causa del sistema strutturale della costruzione dei soffitti e delle condizioni delle stalle esistenti nel XIX secolo e del granaio del XX secolo, gli edifici non erano in grado di adattarsi direttamente alle loro nuove funzioni. Gli edifici sono stati, quindi, sottoposti a ricostruzione ed espansione. Sotto l'ex stalla è stata progettata una cantina per riporre tutte le attrezzature tecniche del complesso, una scelta che ha comportato un lavoro di adattamento delle strutture abbastanza complesso in quanto il locale cantina è stato costruito direttamente sotto le fondamenta storiche esistenti. Il soffitto dell'ultimo piano è stato parzialmente rialzato sopra l'altezza storica con una fascia di finestre che illumina le stanze d'albergo per garantire i requisiti di illuminazione e di spazio della nuova funzione insediativa. I diversi livelli del tetto pia-

no fungono da balaustra da terrazza ricreativa, situata sul tetto dell'edificio storico.



Figura 10.142: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;



Figura 10.143: Il complesso abbandonato prima dell'intervento;
 Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;



Figura 10.144: Il complesso rinnovato dopo l'intervento;
 Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;



Figura 10.145: L'edificio esistente sottoposto a recupero con sopraelevazione di un nuovo piano;
Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;



Figura 10.146: La realizzazione del nuovo piano interrato realizzato sull'edificio esistente; Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;



Figura 10.147: Pianta piano terra; Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;

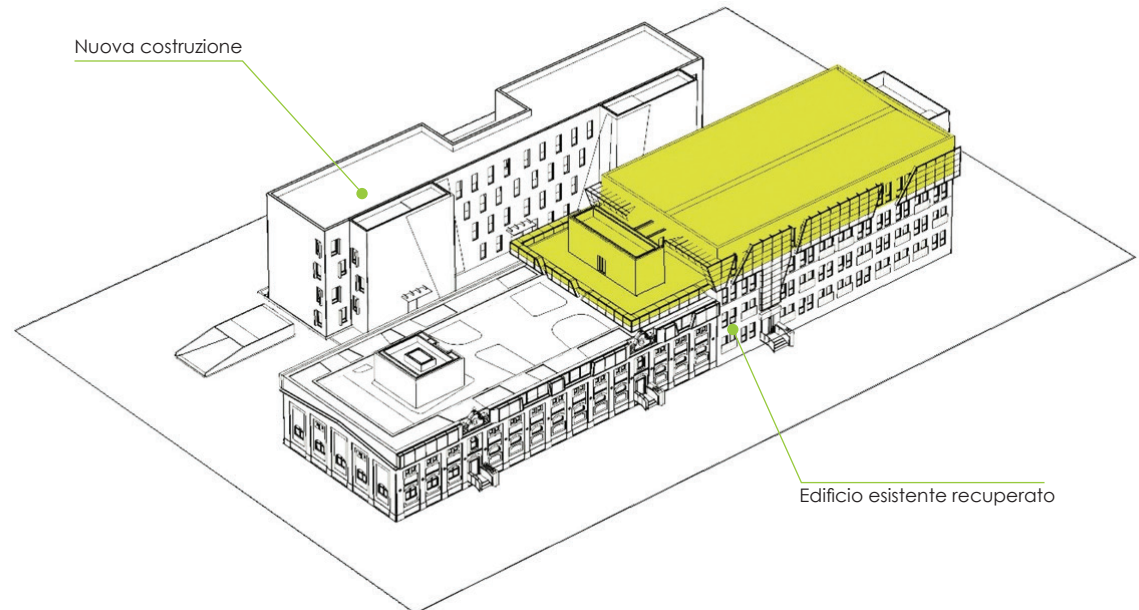


Figura 10.148: Assonometria del progetto; Fonte: <http://www.nanowoarchitekci.pl/>;

Ubicazione: Copenhagen, Danimarca
 Anno di costruzione: 2017
 Funzione: edificio residenziale
 Superficie: 10.000 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti. Il mantenimento dell'esistente è di circa l'80%.

DESCRIZIONE

Il progetto prevede il recupero e la conversione di un silo dismesso in un edificio residenziale, quale polo di riferimento della riqualificazione post-industriale del quartiere. L'ex-silo, utilizzato originariamente come granaio, è caratterizzato dalla forma lunga e stretta per un'altezza complessiva di 62 metri. L'anima in calcestruzzo è stata conservata interamente e, al suo interno, l'intervento ha conservato l'integrità originaria del manufatto. La struttura in calcestruzzo è stata incisa per ricavare le aperture degli alloggi residenziali. Successivamente sono state applicate delle piastre in acciaio ancorate alla struttura e, infine, sono stati agganciati alle piastre degli elementi modulari prefabbricati realizzati con strati di isolante e rivestiti all'esterno da acciaio zincato. Gli elementi scultorei nuovi creano gli aggetti che caratterizzano il prospetto. Gli spazi interni, invece, non sono rivestiti e lasciano così in mostra la struttura originale in cemento armato. Inoltre l'edificio ha subito un ampliamento verticale con l'aggiunta di un nuovo piano.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Gli elementi prefabbricati sono assemblati a secco con tecniche a serraggio e possono, quindi, essere disassemblati.

P4: Design for Off Site Construction

Gli elementi aggiunti in facciata sono stati realizzati in stabilimenti e assemblati in cantiere.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Il rivestimento esterno in acciaio zincato può essere riciclato al termine del suo ciclo di vita.



Figura 10.149: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.150: Prima e dopo l'intervento;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.151: L'assemblaggio in sito degli elementi prefabbricati;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.152: Il progetto ha previsto l'aggiunta di un nuovo piano sull'edificio esistente; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.153: Tutti gli interni sono stati mantenuti con la struttura esistente in calcestruzzo a vista; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

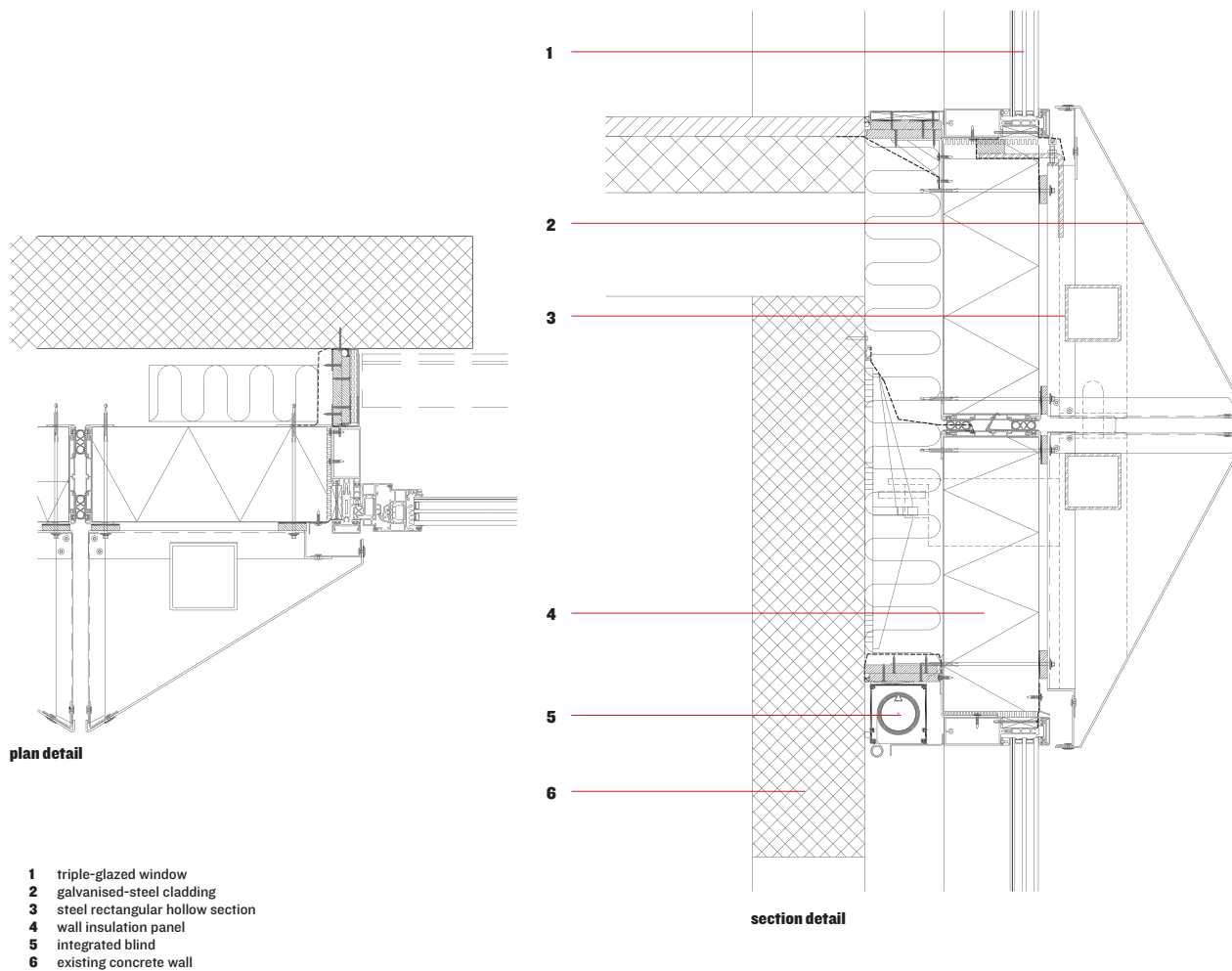


Figura 10.154: Dettagli tecnologici; Fonte: <https://www.architectural-review.com/>;

Ubicazione: Gipuzkoa, Spagna
 Anno di costruzione: 2006
 Funzione: biblioteca
 Superficie: 510 mq
 Costo di costruzione: 604.500 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con ampliamento e riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Aizkibel Library Extension è l'ampliamento dell'ex stazione ferroviaria, già precedentemente convertita in biblioteca, che però necessitava di maggior spazio. Il nuovo edificio, caratterizzato da una forma irregolare, è collocato sulla parte laterale dell'edificio esistente. La peculiarità della nuova estensione è quella di essere completamente rivestita da traversine di legno derivanti dai binari dismessi.

Dopo che i binari sono stati smantellati, le traversine, che hanno una dimensione di 260x24x14 cm, sono state accatastate vicino alla stazione e, successivamente, sono state utilizzate come rivestimento esterno del nuovo ampliamento.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Il rivestimento esterno è collegato al supporto murario attraverso profili metallici che ne consentono quindi la demolizione selettiva.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Una volta rimosse, le traversine in legno possono essere riutilizzate o mandate a centri di riciclaggio.

P7: Materiali locali

Le traversine in legno sono state recuperate dai vecchi binari dismessi localizzati vicino all'ex stazione ferroviaria.



Figura 10.155: Vista complessiva dell'ex stazione ferroviaria e del nuovo ampliamento; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.156: Dettaglio del rivestimento esterno realizzato con il recupero delle traversine dei binari dismessi; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.157: Particolare del nuovo ampliamento in stile contemporaneo; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

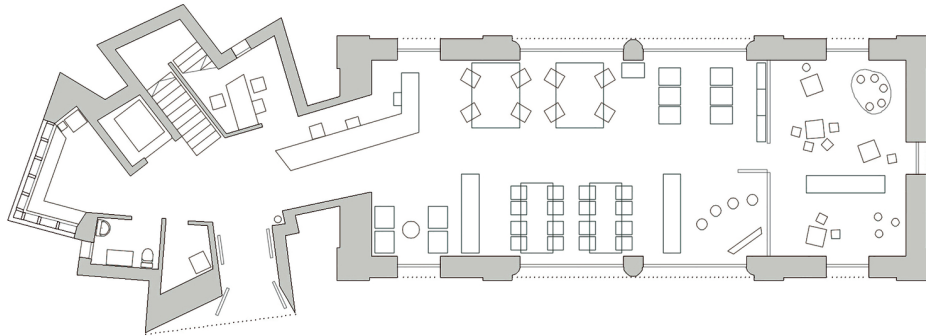


Figura 10.158: Pianta piano terra; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

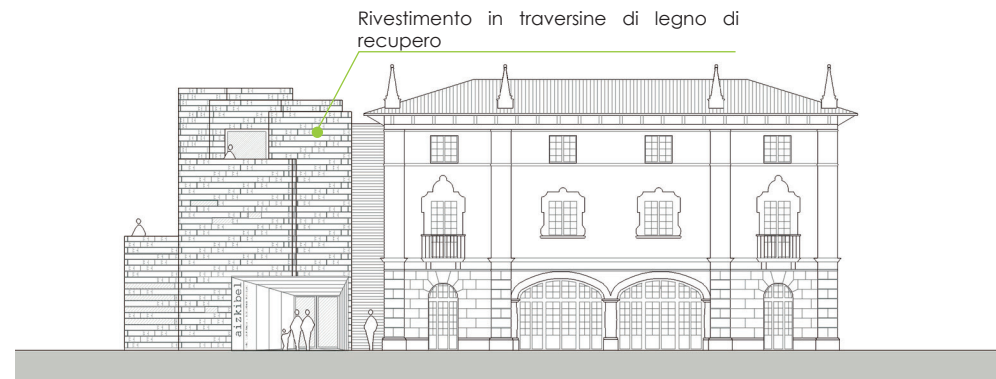


Figura 10.159: Prospetto principale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

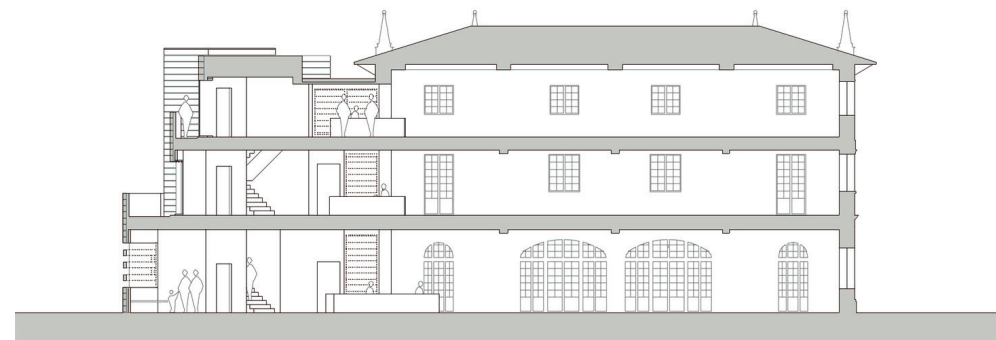


Figura 10.160: Sezione longitudinale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Le traversine di recupero hanno dimensioni: 260x24x14 cm

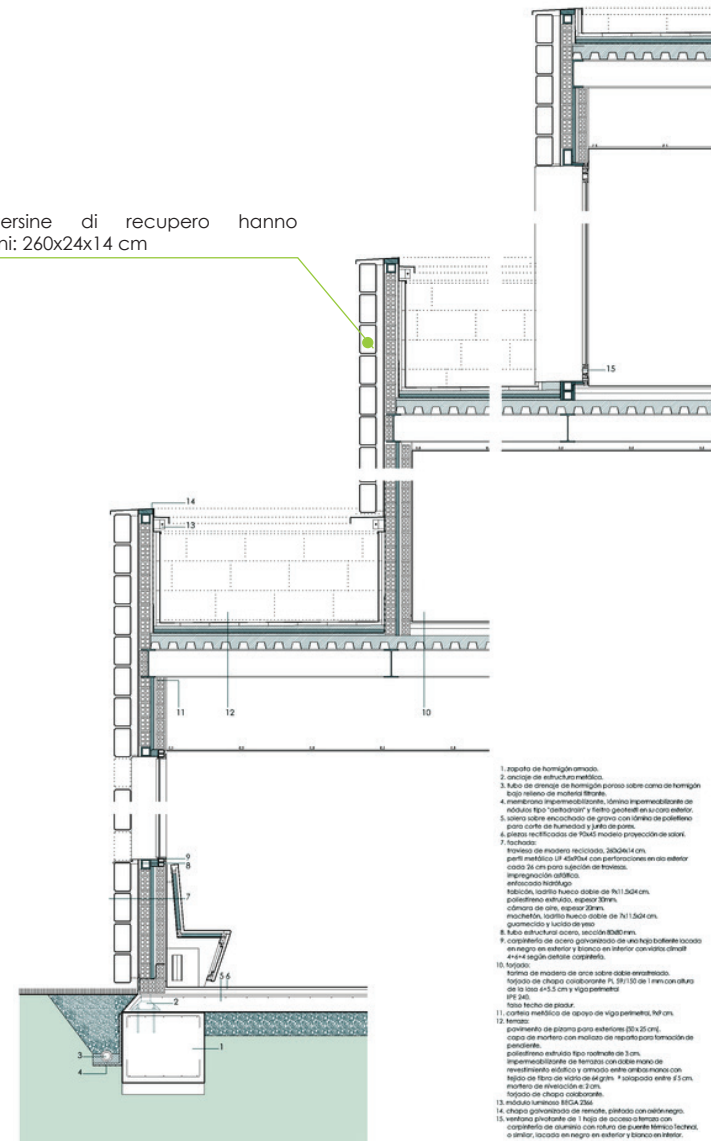


Figura 10.161: Sezione tecnologica; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Catania, Italia
 Anno di costruzione: 2016
 Funzione: centro di riabilitazione
 Superficie: 400 mq
 Costo di costruzione: /

E1	E2	E3	E4			
M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2

Riuso e conversione edificio esistente con riuso di materiali provenienti da altri settori.
 Il mantenimento dell'esistente è di circa il 90%

DESCRIZIONE

Protiro è il progetto di recupero e di conversione di due ex capannoni artigianali dismessi da destinare ad attività di riabilitazione e formazione. La riconfigurazione spaziale interna degli edifici esistenti ha reso necessaria l'aggiunta di una scala e di un ascensore. L'aggiunta di questi elementi si è ottenuta grazie alla realizzazione di una nuova struttura in acciaio, addossata all'edificio esistente, caratterizzata dal rivestimento esterno ottenuto tramite il riutilizzo di cassette ortofrutticole in plastica, utilizzate precedentemente per la raccolta delle arance.

In totale sono state riutilizzate 733 cassette di plastica HDPE, con una dimensione esterna di 935x640x560 mm e un peso di 6,5 kg ciascuna.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

Il nuovo ingresso realizzato con la struttura d'acciaio e le cassette di plastica può essere completamente decostruito.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Le cassette di plastica possono essere smontate e riciclate o riutilizzate in altri progetti.



Figura 10.162: Vista del nuovo ingresso realizzato con cassette in plastica di recupero; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

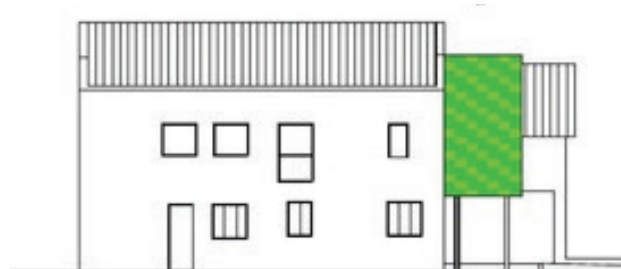


Figura 10.163: Prospetto frontale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

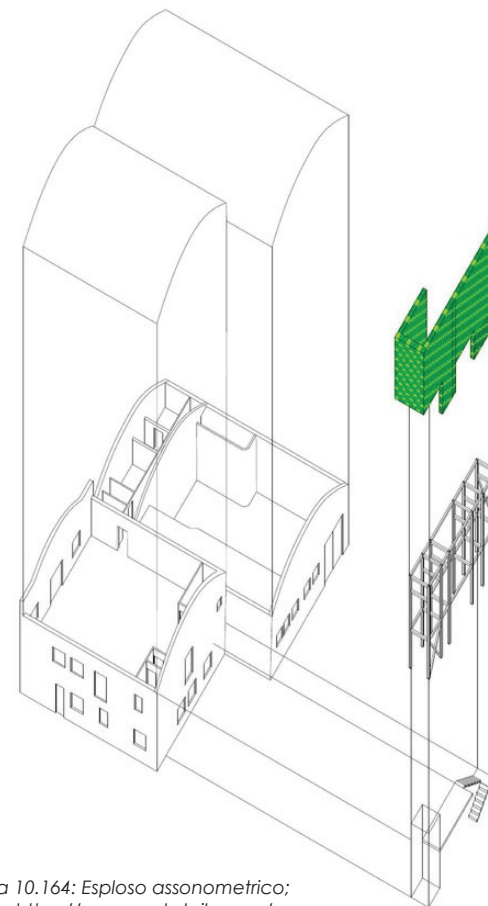


Figura 10.164: Esploso assonometrico; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Washington D.C., USA
 Anno di costruzione: 2009
 Funzione: scuola
 Superficie: 6.700 mq
 Costo di costruzione: 28.000.000 €

E1	E2	E3	E4			
M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2

Mantenimento edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti con riuso di materiale proveniente da altri settori. Il mantenimento dell'esistente è di circa il 90%

DESCRIZIONE

Il progetto è un esempio di mantenimento di edificio esistente con ampliamento di nuova costruzione. L'edificio pre-esistente della Sidwell Friends Middle School degli anni '50, di circa 3.100 mq, è stato soggetto a un moderno rinnovo e a un ampliamento, di circa 3.600 mq. Il riuso dei materiali è stata una delle strategie più efficienti adottate nel progetto. Sono stati utilizzati, infatti, 95 metri cubi di legno di recupero che rappresentano, insieme ad altri materiali di riuso, il 9% del costo totale dei materiali. Il legno utilizzato per le lamelle frangisole (circa 70 mc) dei prospetti est e ovest e per il rivestimento esterno delle altre facciate del nuovo corpo aggiunto hanno un'età di circa 100 anni e derivano dal legno recuperato da botti di vino. La pavimentazione esterna e dell'atrio (circa 98 mq) in legno è recuperata da palificate provenienti dal porto di Baltimora, reimpiegati dopo aver subito trattamenti di segatura, mentre i gradini in abete sono serviti come finiture degli infissi e come davanzali.

PRINCIPI PROGETTUALI

P2: Design for adaptability

Le grandi campate strutturali consentono modi-

fiche degli ambienti interni, così come le partizioni possono essere facilmente sostituite.

P4: Design for Off Site Construction

Gli infissi realizzati con legno recuperato da gradini sono elementi prefabbricati realizzati fuori opera, per ridurre gli scarti di legno.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Il 60% dei rifiuti prodotti in cantiere durante la fase di demolizione dell'esistente e costruzione dell'ampliamento sono stati mandati a riciclaggio.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura sono installati pannelli fotovoltaici che coprono circa il 5% del fabbisogno energetico, mentre nel cortile è presente una vasca di raccolta delle acque piovane riutilizzata per gli scarichi del w.c.

CERTIFICAZIONI

Leed v2.1 Platinum, 2007
 Punteggio: 56/69

Il legno utilizzato proviene da foreste a gestione sostenibile con marchio FSC.



Figura 10.165: il rivestimento e i frangisole in legno sono stati recuperati da botti di vino; Fonte: <https://kierantimberlake.com/>;

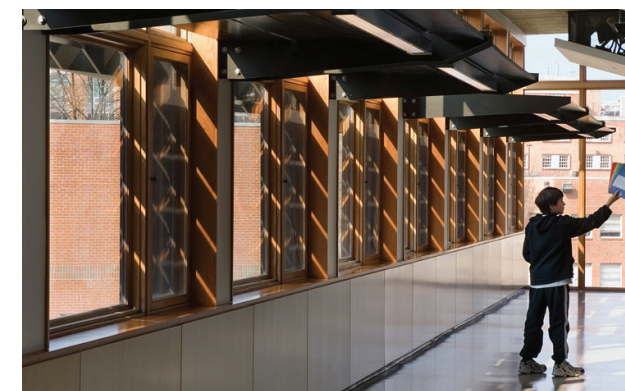
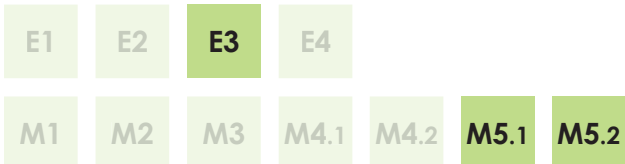


Figura 10.166: I davanzali delle finestre sono in legno di recupero; Fonte: <https://kierantimberlake.com/>;

Ubicazione: Melbourne, Australia
 Anno di costruzione: 2013
 Funzione: residenza
 Superficie: 410 mq
 Costo di costruzione: /



Mantenimento edificio esistente con ampliamento e riuso di materiale proveniente dalla parte di edificio demolito per stessa e differente funzione.
 Il mantenimento dell'esistente è di circa il 90%

DESCRIZIONE

Il progetto prevede il mantenimento parziale dell'edificio esistente residenziale di epoca vittoriana e un nuovo ampliamento che mira al riuso di materiali provenienti dalla parte demolita dell'edificio esistente stoccati in loco. Nel dettaglio, la demolizione ha interessato la parte posteriore della casa per lasciare spazio al nuovo ampliamento collegato direttamente al cortile. La facciata posteriore demolita, in mattoni rossi, è stata frammentata in porzioni quadrate uguali e riutilizzata per le facciate del nuovo ampliamento: l'assemblaggio è avvenuto secondo la tecnica surrealista della cubomania.

Altri elementi recuperati dalla porzione demolita sono stati reimpiegati nel nuovo ampliamento: le inferiate metalliche delle vecchie porte sono diventati elementi di schermatura solare; alcune tegole in ardesia della copertura demolita sono diventate davanzali per finestre e altri elementi presenti sulla facciata esterna; persino alcuni elementi di arredo sono ottenuti dal riuso di elementi recuperati come il grande lampadario nel vano scala ottenuto con gli scalini e le balaustre recuperati dalla vecchia scala demolita.

PRINCIPI PROGETTUALI

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Alcuni materiali ed elementi sono stati recuperati e riutilizzati per la realizzazione del nuovo ampliamento, evitando il conferimento in discarica.

P7: Materiali locali

La maggior parte dei materiali impiegati nel nuovo ampliamento sono recuperati dalla porzione demolita dell'edificio esistente.

P8: Uso efficiente delle risorse

Sulla copertura del nuovo ampliamento sono presenti pannelli fotovoltaici, per la produzione di energia elettrica, e pannelli solari termici, per il riscaldamento dell'acqua. Sono presenti, inoltre, bacini per la raccolta dell'acqua piovana.



Figura 10.167: Vista del nuovo ampliamento;
 Fonte: <https://www.phooley.com.au/>;



Figura 10.168: Le inferiate metalliche recuperate dalla parte di edificio demolito sono state riusate come schermature solari;
 Fonte: <https://www.phooley.com.au/>;



Figura 10.169: Rappresentazioni delle demolizioni e riassetto secondo il metodo della "cubomania";
Fonte: <https://www.phooy.com.au/>;



Figura 10.170: Prospetto sud; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

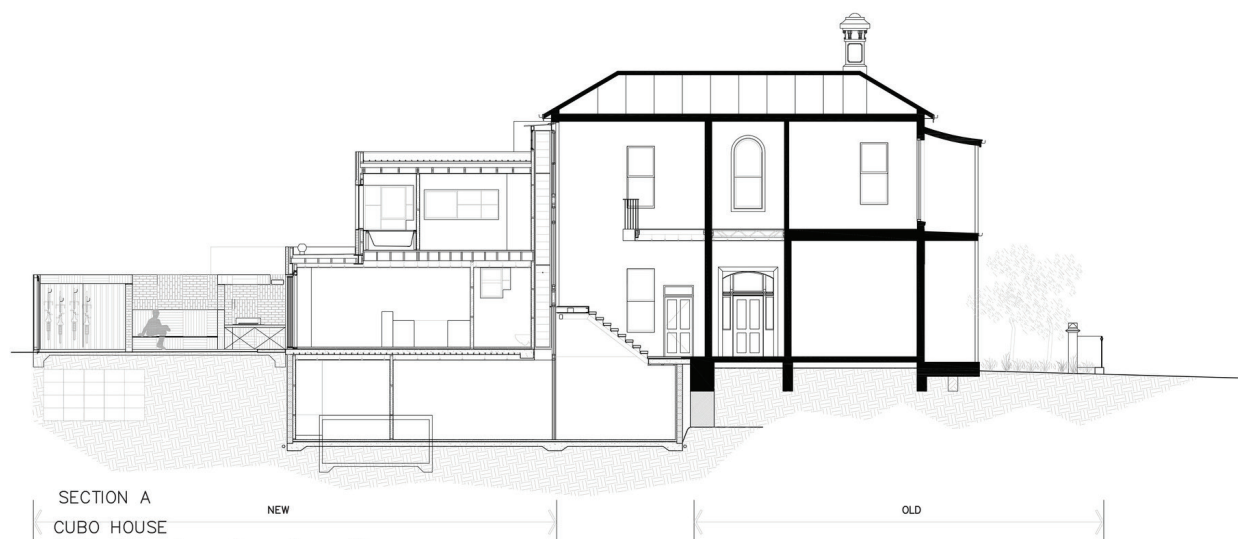


Figura 10.171: Sezione longitudinale che evidenzia l'edificio esistente mantenuto e il nuovo ampliamento aggiunto;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Duiven, Olanda
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: uffici
 Superficie: 21.852 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Mantenimento edificio esistente con ampliamento e uso di materiali riciclati (Upcycle e Downcycle), e riuso di materiali provenienti da altri settori e da edificio demolito. Il mantenimento dell'esistente è di circa il 70%

DESCRIZIONE

Gli edifici esistenti, composti da differenti blocchi, sono stati integrati nella nuova costruzione: un nuovo atrio vetrato con un tetto curvo connette i cinque volumi esistenti, più uno di nuova costruzione. Le facciate degli edifici esistenti sono state mantenute e rinnovate con una nuova "pelle" che ne migliora sia l'isolamento termico che l'aspetto esteriore: il rivestimento è realizzato con scarti di legno, provenienti per lo più da pallet, originariamente destinati a inceneritori; il nuovo strato di isolante è realizzato, invece, dal riciclo di scarti e triturazioni di vestiti; il calcestruzzo ottenuto dalle parti demolite è stato riciclato come sottofondo delle nuove pavimentazioni; le strutture in acciaio provenienti dalla demolizione selettiva dell'esistente sono state reimpiegate per la nuova struttura in acciaio; l'asfalto proveniente dal tetto esistente è stato riciclato in sito; infine anche alcuni arredi e finiture (come i pannelli dei soffitti) sono stati mantenuti e riutilizzati nella nuova parte aggiunta. In totale, il 90% del materiale è stato mantenuto, considerando sia l'esistente sia il reimpiego, e il 50% di tutti i materiali usati deriva dal recupero delle parti demolite.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

La struttura in acciaio della nuova copertura è progettata per essere completamente disassemblata.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

L'84% dei materiali nuovi impiegati sono riciclabili, così come altri materiali reimpiegati possono essere nuovamente riutilizzati o riciclati.

P6: Gestione dei rifiuti da C&D

Il 90% dei rifiuti prodotti dai lavori di demolizione e costruzione sono stati mandati a riciclo.

P7: Materiali locali

I materiali recuperati dalla demolizione dell'edificio sono reperiti a km 0.

P8: Uso efficiente delle risorse

L'edificio produce circa 1,5 milioni di kWh annui, più del proprio fabbisogno energetico. Il surplus viene utilizzato da alcuni edifici limitrofi. I pannelli solari sono integrati ad una pensilina utilizzata per generare ombra nei parcheggi, svolgendo così una duplice funzione.



Figura 10.172: Vista complessiva dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.173: Il complesso di edifici esistenti prima dell'intervento di rinnovo e di ampliamento; Fonte: <https://www.fokkema-partners.nl/>;



Figura 10.174: Dettaglio del rivestimento esterno in legno di recupero;
Fonte: <https://opalib.be/>;



Figura 10.175: La nuova "pelle" è stata aggiunta all'edificio esistente;
Fonte: <https://www.gispn.com/>;

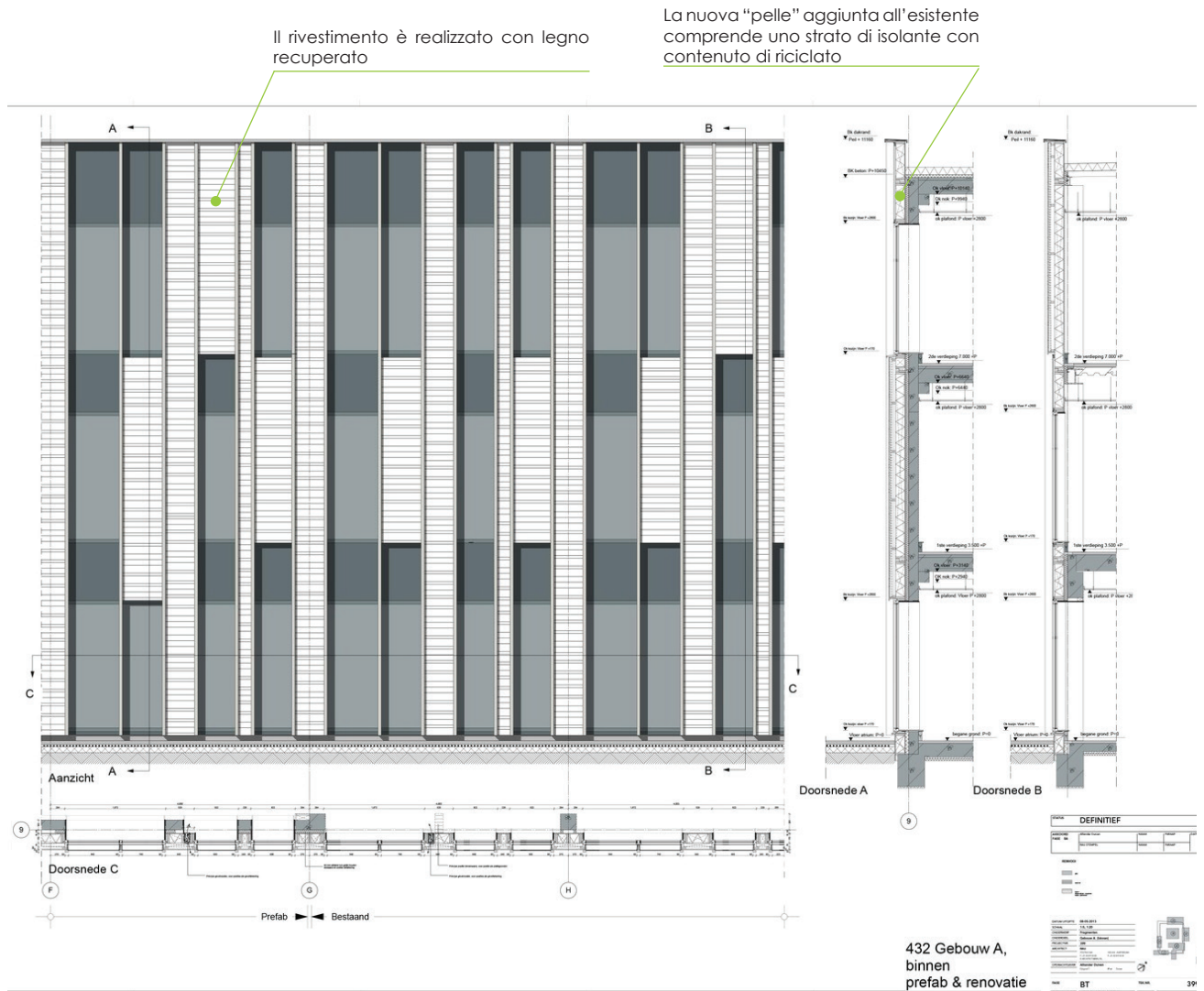


Figura 10.176: Porzione di prospetto con pianta e sezione tecnologica; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

Ubicazione: Olanda
 Anno di costruzione: 2001
 Funzione: museo, scuola, ufficio
 Superficie: /
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

DESCRIZIONE

L'edificio progettato dallo studio XX Architekten prevede la possibilità di disassemblare al 100% l'edificio per poterlo riassemblare e riutilizzare in altre località con una differente configurazione formale, spaziale e funzionale. L'edificio originario, realizzato nel 2001 a Rotterdam in Olanda, definito Villa Zebra, prevedeva un museo per bambini. Successivamente la struttura è stata smontata e conservata in un grande magazzino per poi essere riassemblata due anni dopo a Hoogvliet in Olanda con il nome di Villa Notenkraker. Questa volta l'edificio è stato realizzato per ospitare una scuola temporanea. La terza e ultima configurazione ha avuto luogo a Hilversum, sempre in Olanda, con il nome di Villa Camera. L'originario edificio è stato riassembleto in modo da dar vita ad un complesso di tre piccoli edifici che hanno ospitato degli uffici.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio è progettato per essere velocemente disassemblato e riassembleto in altri siti.

P2: Design for adptability

L'edificio è progettato per essere flessibile e

adattabile, sia per quanto riguarda la sua forma compositiva, sia per la suddivisione dello spazio interno.



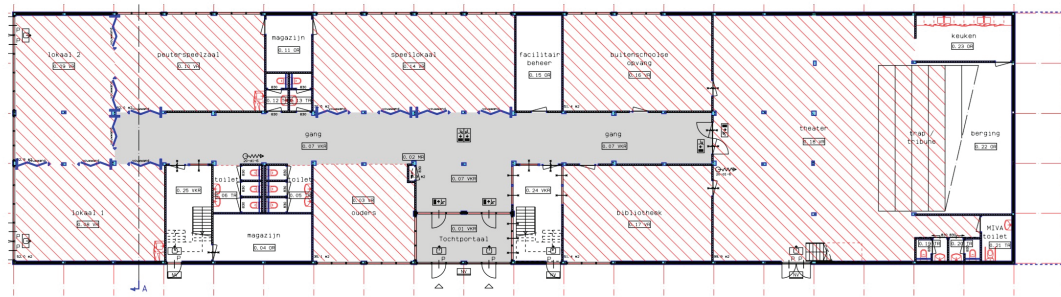
Figura 10.177: Villa Zebra a Rotterdam;
 Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;



Figura 10.178: Villa Notenkraker a Hoogvliet;
 Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;



Figura 10.179: Villa Camera a Hilversum;
 Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;



*begane grond
zuidoost gevel*

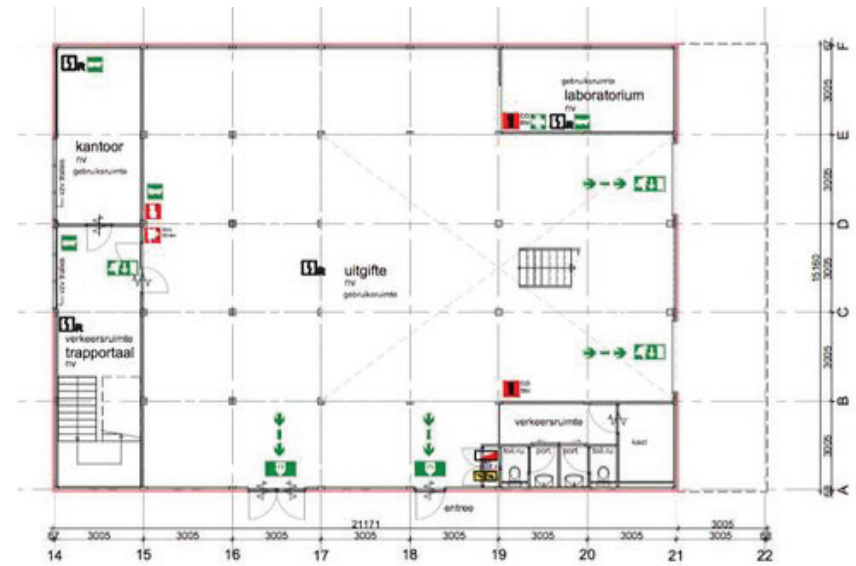


Figura 10.181: Pianta piano terra (Villa Camera); Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;

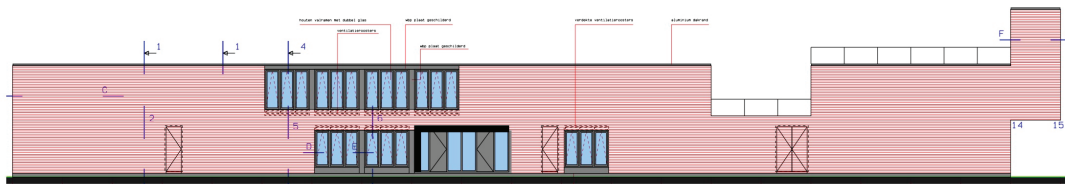


Figura 10.180: Pianta piano terra e prospetto (Villa Notenkraker); Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;

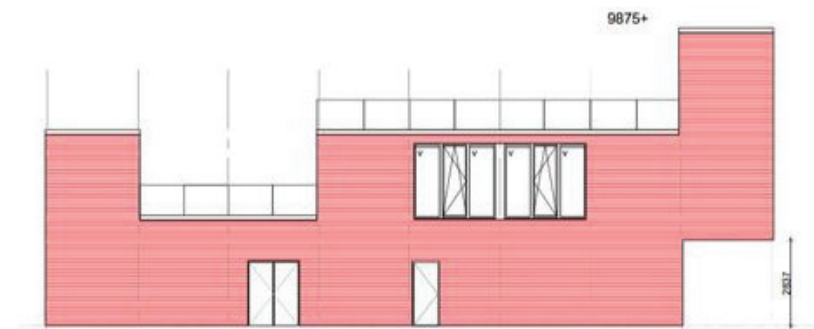


Figura 10.182: Prospetto (Villa Camera); Fonte: <http://xxarchitekten.nl/>;

Ubicazione: Italia
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: centro culturale
 Superficie: 3.000 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

DESCRIZIONE

L'edificio è stato realizzato interamente in carpenteria metallica ed è suddivisibile in corpi distinti. I solai sono di svariate tipologie: all'ingresso e in corrispondenza dei locali tecnici, dati i carichi elevati dei macchinari e delle tematizzazioni, sono state impiegate lastre con getto di completamento appoggiate sui profili metallici, le scale e le passerelle sono realizzate in legno mentre la copertura è costituita da lamiera greca in acciaio.

Il padiglione è stato acquistato dal comune di Val Brembilla a Bergamo per 130 mila euro che lo renderà una struttura per servizi comunitari, per la promozione e lo sviluppo delle associazioni, della cultura locale e delle attività economiche. L'importo totale per i lavori è di un milione e 250 mila euro.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio è stato realizzato per essere completamente disassemblabile a fine vita.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Tutti i materiali in acciaio sono riciclabili o riutilizzabili a fine vita.



Figura 10.183: Vista del padiglione realizzato a EXPO 2015; Fonte: Francesco Mion, 2015;



Figura 10.184: Vista dell'edificio con le vele che caratterizzano l'ingresso realizzato a EXPO 2015; Fonte: <http://www.expo2015.org/>;



Figura 10.185: I materiali e gli elementi del padiglione trasportati a Bergamo per la ricostruzione; Fonte: <https://www.ecodibergamo.it/>;



Figura 10.186: La ricostruzione del padiglione a Bergamo (agosto 2018). Il completamento dei lavori è previsto intorno alla fine del 2018; Fonte: <http://www.lavocedellevalli.it/>;

Ubicazione: Italia
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: centro culturale, ristorazione
 Superficie: 785 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

DESCRIZIONE

Il padiglione è caratterizzato da un'ossatura metallica combinata con chiusure e verticali leggere: le soluzioni costruttive adottate assicurano il rispetto di tutte le esigenze prestazionali anche nei confronti del successivo smontaggio e riutilizzo. I solai sono realizzati in pannelli in legno XLAM sostenuti da un'intelaiatura di travi in acciaio collegati con sistemi a secco a serraggio. Al termine dell'EXPO 2015 a Milano, il padiglione è stato acquistato da una società di logistica ed è stato, successivamente, disassemblato, trasportato e ricostruito a Origgio (VA) per essere riutilizzato come ristorante di cucina uruguaiana inaugurato a maggio 2016.

La facilità di smontaggio, di trasporto e di riassetto della struttura in carpenteria metallica ha consentito un'operazione rapida, con minima produzione di rifiuti.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio è stato realizzato per essere completamente disassemblabile a fine vita.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

Tutti i materiali sono riciclabili o riutilizzabili a fine

vita.



Figura 10.187: Vista dell'edificio realizzato a EXPO 2015;
 Fonte: <https://www.studioambiente.it/>;



Figura 10.188: La costruzione del padiglione: i solai sono realizzati a secco in acciaio e XLAM per permettere la decostruzione totale;
 Fonte: <https://www.ingegneri.cc/>;



Figura 10.189: Il padiglione durante la ricostruzione e l'inaugurazione come ristorante a Origgio; Fonte: <https://www.varesenews.it/>;

Ubicazione: US, Giappone, Messico
 Anno di costruzione: 2005
 Funzione: museo
 Superficie: 4.180 mq
 Costo di costruzione: 5.163.000 €

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito con uso di materiali con contenuto di riciclato, e riuso di materiali provenienti da altri settori

DESCRIZIONE

Il progetto è l'esempio di un edificio realizzato per essere completamente disassemblabile e ricostruibile in altre località soprattutto grazie all'uso di elementi come container navali.

Il primo museo è del 2005 a New York: i muri sono montati a scacchiera, la struttura che sorregge il tetto è costituita da tubi di carta di 30,5 centimetri di diametro, ancorati a colonne verticali, anch'esse di carta del diametro di 76 centimetri. Le due tipologie di tubo sono entrambe di carta con contenuto di riciclato e sono rivestite da una membrana impermeabile; inoltre, sono realizzati a settori per essere trasportati tramite i container. Anche il Nomadic Museum di Santa Monica del 2006 è composto quasi esclusivamente da elementi riciclati, ma gli originali 200 metri sono divisi in due gallerie da 100 metri poste in parallelo. Il Nomadic Museum trasportato a Tokyo nella primavera del 2007, ha lo stesso impianto di quello a Santa Monica, mentre nel più recente realizzato a Zócalo nella Città del Messico gli originali container sono stati sostituiti da una struttura in bamboo. In tutti i casi l'edificio è collocato sul porto della città e i trasporti avvengono sempre per mezzo di navi.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio è progettato per essere velocemente disassemblato e riassembleto in altri siti.

P2: Design for adaptability

L'edificio è progettato per essere flessibile e adattabile ai vari siti in base alle dimensioni del sito stesso.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

I container possono essere riutilizzati a fine vita, così come i tubi di carta possono essere nuovamente riciclati o riusati.

P7: Materiali locali

Solo 30 su 148 container che costituiscono la struttura sono trasportati da sito a sito, i restanti 118 container vengono, di volta in volta, affittati direttamente dal porto che ospita il museo.



Figura 10.190: Vista complessiva dell'edificio (NY);
 Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;

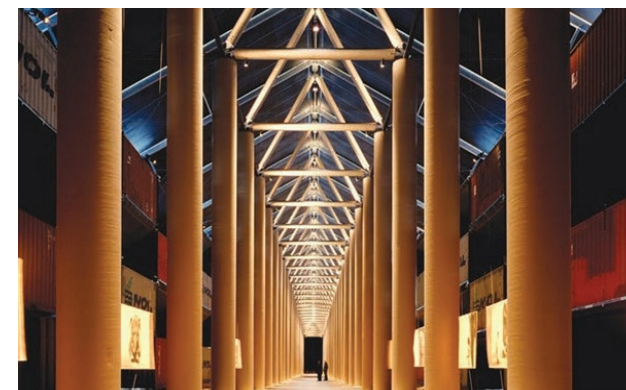


Figura 10.191: Vista dello spazio interno con le colonne e le capriate realizzate in carta con contenuto di riciclato (NY);
 Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;

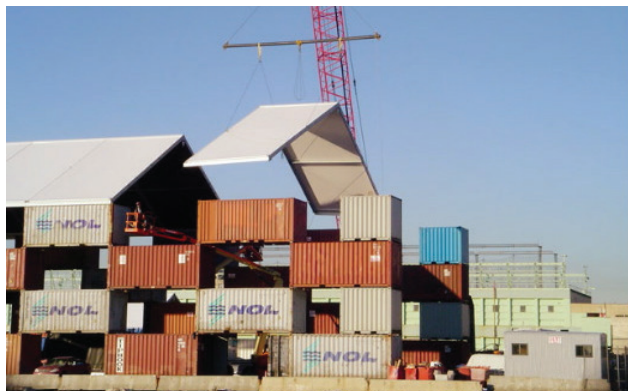


Figura 10.192: Vista durante l'assemblaggio della copertura (NY);
Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;



Figura 10.193: Il Nomadic Museum di Città del Messico è stato realizzato con una struttura in bambù al posto dei container;
Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;

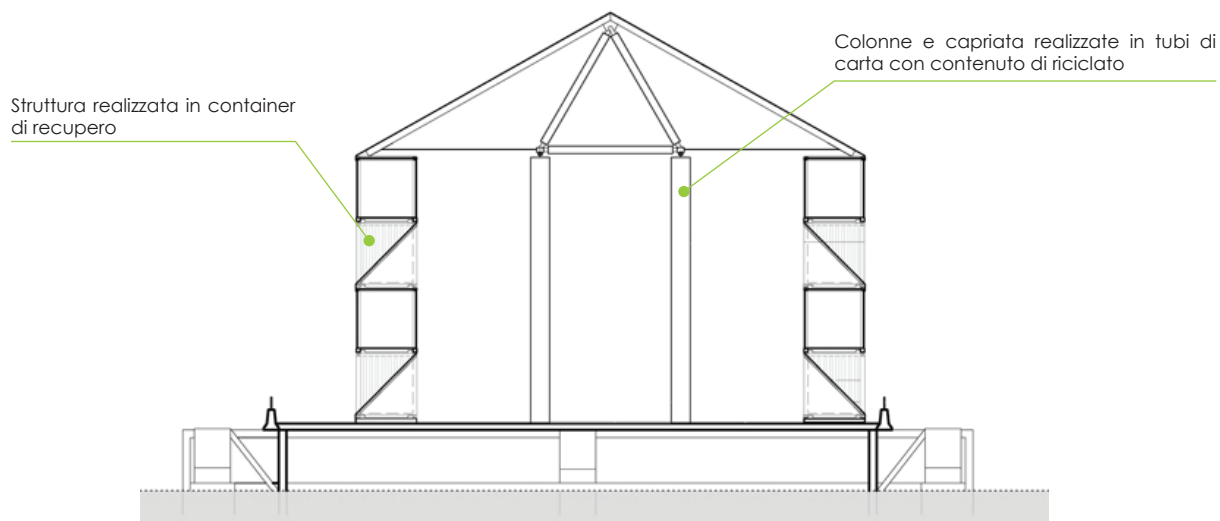


Figura 10.194: Sezione, museo di New York; Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;

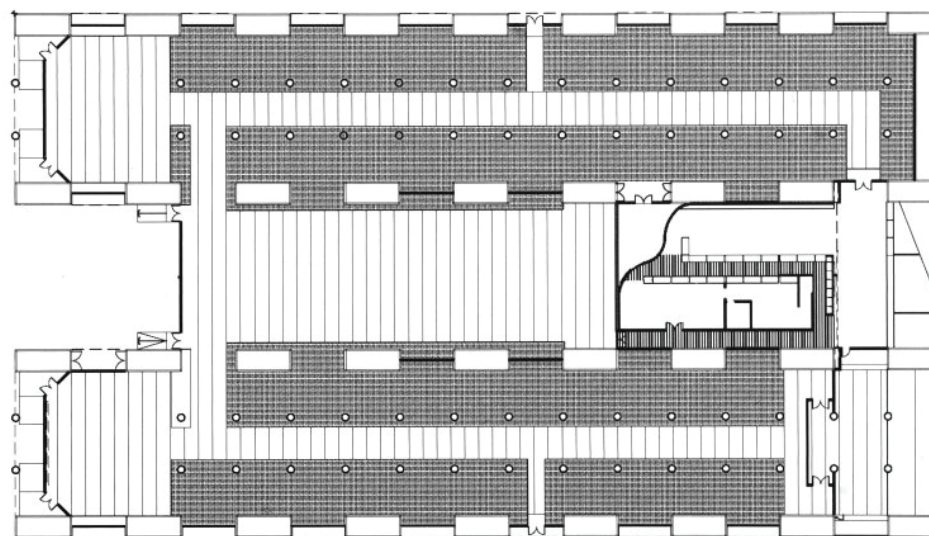


Figura 10.195: Pianta piano terra, museo di Santa Monica; Fonte: <https://www.lib.ncsu.edu/>;

Ubicazione: Parigi, Francia
 Anno di costruzione: 2015
 Funzione: centro culturale
 Superficie: 70 mq
 Costo di costruzione: /

E1

E2

E3

E4

M1

M2

M3

M4.1

M4.2

M5.1

M5.2

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito con riuso di materiali provenienti da altri settori, e dal settore edile con funzione sia uguale che diversa rispetto all'origine

DESCRIZIONE

Circular Pavilion è un padiglione temporaneo realizzato a Parigi secondo i principi dell'economia circolare. Circa il 60% dei materiali utilizzati per realizzare il padiglione è di recupero. La facciata è composta da 180 porte recuperate da un condominio dismesso; lo strato di isolante in lana di roccia è stato recuperato a seguito della demolizione della copertura di un supermercato; gli elementi della struttura portante a telaio in legno sono recuperati da scarti e sfridi derivanti da un cantiere di una casa di riposo, mentre il pavimento e le partizioni interne verticali derivano da un altro padiglione espositivo dismesso. Il pavimento esterno, invece, proviene da un decking di legno della Paris Plage. Anche le sedie in legno interne sono state recuperate da cassoni di rifiuti ingombranti, poi sistemate e riverniciate, così come le luci sono recuperate da lampioni pubblici non più utilizzati.

Il padiglione, che ha un uso temporaneo di tre mesi, ospiterà eventi vari, esposizioni, workshop, convegni, ecc. A inizio 2016 il padiglione è stato smontato ed è stato reinstallato in modo permanente, sempre a Parigi, come club di associazioni sportive di bowling.

PRINCIPI PROGETTUALI

P1: Design for deconstruction

L'edificio è progettato per essere completamente disassemblato e riassembleato.

P5: Materiali riciclabili o riutilizzabili

I materiali possono essere riciclati o riutilizzati a fine vita.



Figura 10.196: Vista frontale dell'edificio;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.197: Vista dell'interno con sedie e lampade di recupero;
 Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

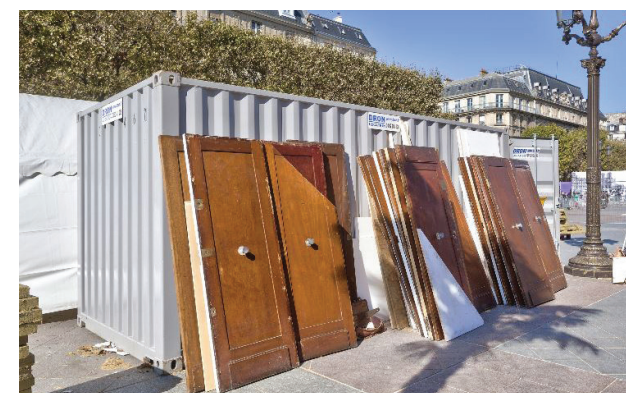


Figura 10.198: Le porte recuperate sono state riusate per il rivestimento;
 Fonte: <http://www.archilovers.com/>;

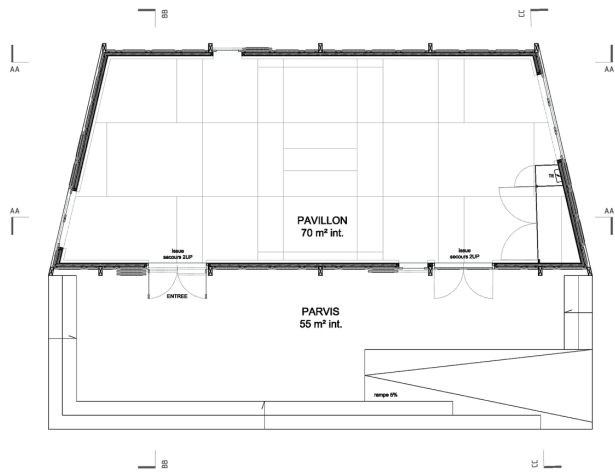


Figura 10.199: Pianta piano terra; Fonte: <http://www.archdaily.com/>;

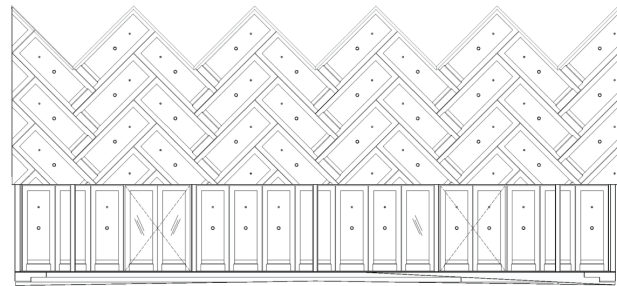


Figura 10.200: Prospetto frontale; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 10.201: Modelli tridimensionali che mostrano il telaio in legno, l'isolante in lana di roccia e il rivestimento con porte; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

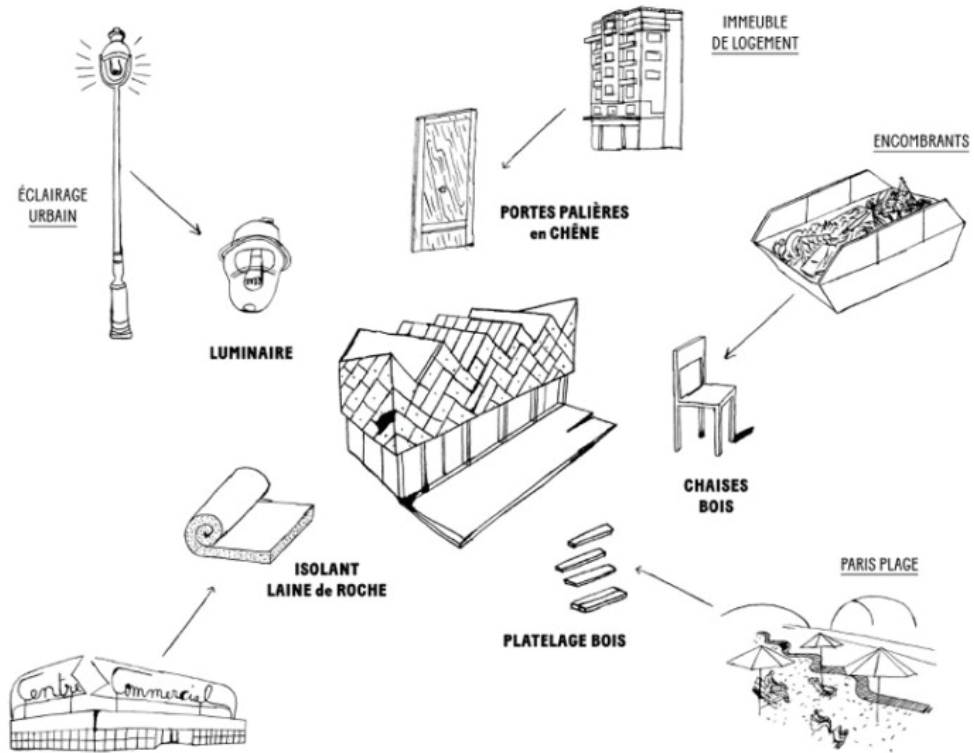


Figura 10.202: Disegno in cui vengono mostrati gli elementi di recupero; Fonte: <http://www.platform-ad.com/>;

CASO STUDIO	EDIFICIO				MATERIALE								UBICAZIONE	ANNO	FUNZIONE	SUPERFICIE (MQ)	COSTO COSTRUZIONE (€)	PRINCIPI PROGETTUALI								CERTIFICAZIONE
	E1	E2	E3	E4	M1	M2	M3	M4.1	M4.2	M5.1	M5.2	P1						P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Council House 2	•					•							Australia	2006	Uffici	12.500	44.000.000				•	•	•	•	•	
Conceptos Plasticos	•					•							Colombia	2010	Residenza	40	6.300	•				•				
Sawmill House	•					•							Australia	2014	Residenza	100	/							•		
Sede Azienda Savno	•					•							Italia	2010	Uffici	600	/					•		•		
People's Pavilion	•					•							Olanda	2017	Centro culturale	250	/	•				•	•			
TVZEB	•					•							Italia	2012	Uffici	190	/	•	•			•	•	•	•	
Big Dig House	•							•					USA	2008	Residenza	353	490.000	•							•	
Bima Microlibrary	•							•					Indonesia	2016	Biblioteca	160	35.000	•				•				
Dezanove House	•							•					Spagna	2012-2013	Residenza	389	843.400								•	
Jellyfish Theatre	•							•					UK	2010	Teatro	/	22.400	•				•				
Temporary Pavilion	•							•					UAE	2017	Centro culturale	/	/	•				•		•		
Una Escuela Sustentable	•							•					Uruguay	2016	Scuola	270	350.000								•	
Barn Again	•										•		USA	2013	Residenza	160	/							•	•	•
Ningbo Museum	•										•		Cina	2008	Museo	33.000	/							•		
Recycled Materials Collage	•									•	•		Cile	2008	Residenza	112	/									
Kamikatz Public House	•							•			•		Giappone	2015	Ristorazione	115	/					•		•		
Ty Pren	•									•	•		UK	2009	Residenza	175	302.700	•		•	•	•	•	•		
Upcycle House	•							•	•		•		Danimarca	2013	Residenza	129	228.000							•	•	
Villa Welpeloo	•							•	•		•		Olanda	2009	Residenza	/	/	•		•		•	•			
Collage House	•							•	•	•	•		India	2015	Residenza	520	/							•	•	
Waste House	•					•	•	•	•				UK	2014	Centro di ricerca	/	157.000					•				
Capilla San Bernardo		•										•	Argentina	2015	Luogo di culto	92	/						•	•		
California Academy of Sciences		•						•					USA	2008	Museo	125.000	435.000.000						•	•	•	•
Clay Roof House		•									•		Malesia	2015	Residenza	/	/	•				•	•	•	•	
Tongjiang Recycled Brick School		•				•					•		Cina	2012	Scuola	1.096	63.400							•	•	
S11 House		•				•						•	Malesia	2012	Residenza	/	/					•	•	•	•	•
School of Nursing		•						•			•		USA	2004	Scuola	18.023	50.000.000	•	•			•	•	•	•	•
Chartwell School		•				•		•			•		USA	2006	Scuola	2.000	8.000.000	•	•	•	•	•	•	•	•	•
BRE Building		•				•	•				•		UK	1997	Uffici	1.350	3.400.000	•						•	•	•
Auditorium Niccolò Paganini			•										Italia	1996-2001	Auditorium	130.000	3.500.000									
Brin 69			•										Italia	2012-2013	Uffici	27.000	30.000.000	•	•			•			•	
Casa Mediterraneo			•										Spagna	2012	Centro culturale	31.100	/	•								
Gemini Residence			•										Danimarca	2001-2005	Residenza	10.700	17.800.000									
Leszczynski Antoniny Manor Intervention			•										Polonia	2015	Residenza	8.928	/									
The Silo			•										Danimarca	2017	Residenza	10.000	/	•			•	•				
Aizkibel Library Extension			•					•					Spagna	2006	Biblioteca	510	604.500	•				•		•		
Profiro			•					•					Italia	2016	Centro di riabilitazione	400	/	•				•				
Sidwell Friends Middle School			•					•					USA	2009	Scuola	6.700	28.000.000			•		•		•	•	•
Cubo House			•								•	•	Australia	2013	Residenza	410	/							•	•	•
Alliander hq			•			•	•	•				•	Olanda	2015	Uffici	21.852	/	•				•	•	•	•	
Metamorfose				•									Olanda	2001	Museo, scuola, uffici		/	•	•							
Padiglione Kuwait				•									Italia	2015	Centro culturale	3.000	/	•				•				
Padiglione Uruguay				•									Italia	2015	Centro culturale	785	/	•				•				
Nomadic Museum				•		•	•						USA, JP, MX	2005	Museo	4.180	5.163.000	•	•			•		•		
Circular Pavilion				•			•	•	•				Francia	2015	Centro culturale	70	/	•				•				

Tabella 10.1: Tabella di sintesi dei casi studio analizzati; Fonte: elaborazione personale;

11

LETTURA CRITICA DEI CASI STUDIO

Dopo aver analizzato i singoli casi studio nelle pagine precedenti, è possibile ora mettere in evidenza alcune considerazioni critiche conclusive sottolineando fin da subito che tali considerazioni si basano su un campione limitato, ossia quello dei casi studio analizzati, il quale però si ritiene rappresentativo, in quanto la ricerca è stata condotta in modo libero e il campione di casi raccolti, nella sua casualità, si è composto mostrando alcune tendenze riconoscibili.

Come si evince, in primo luogo, dal quadro riassuntivo riportato alla pagina precedente è possibile notare come gli edifici di nuova costruzione, con uso di materiali riciclati o riusati, sono la maggioranza (quasi la metà del totale dei casi studio) rispetto agli interventi alla scala dell'edificio, mentre la minoranza è rappresentata dai casi di edifici disassemblati e ricostruiti in altro sito per funzioni uguali o diverse: una pratica non ancora del tutto diffusa applicata quasi esclusivamente alle costruzioni di tipo temporaneo. Per quanto riguarda gli interventi alla scala del materiale, invece, è possibile sostenere che la maggioranza (18 casi su 45) è data dai casi che riusano materiale da altri settori, mentre al secondo posto sono presenti i casi che riutilizzano

materiali edili con 17 casi su 45 di cui 12 riutilizzano i materiali con la stessa funzione e solo 5 riutilizzano i materiali con funzione differente rispetto all'origine. Per quanto riguarda i materiali riciclati vi è un notevole distacco tra gli edifici che riciclano materiale con valore maggiore rispetto all'origine (upcycle) e gli edifici che riciclano materiale con valore minore. È interessante sottolineare come i materiali riciclati con valore minore rispetto all'origine (downcycle) sono collegati soprattutto alla tipologia E2 (demolizione e ricostruzione sullo stesso sito): la pratica di riciclare inerti o frammenti di materiali derivanti dalla demolizione dell'edificio pre-esistente sul sito nel nuovo progetto, come sottofondi o strati di riempimento, è piuttosto ricorrente all'interno dell'analisi svolta.

Dal grafico (figura 11.1) è possibile individuare quali sono i collegamenti edificio-materiali analizzati e quale è la prevalenza (segnalata con una linea più spessa) per ogni tipologia di intervento alla scala dell'edificio. Gli edifici di nuova costruzione (E1) analizzati nei casi studio utilizzano per lo più materiali e prodotti con contenuto di riciclato (M2), gli edifici ricostruiti a seguito della demolizione della pre-esistenza (E2) utilizzano per lo più materiali provenienti dalla pre-esistenza demolita sia, come già accennato precedentemente, come inerti e aggregati (M1), sia riutilizzando gli stessi materiali per la medesima funzione (M5.2). Gli edifici che mantengono e riusano l'intero edificio esistente (E3) risultano

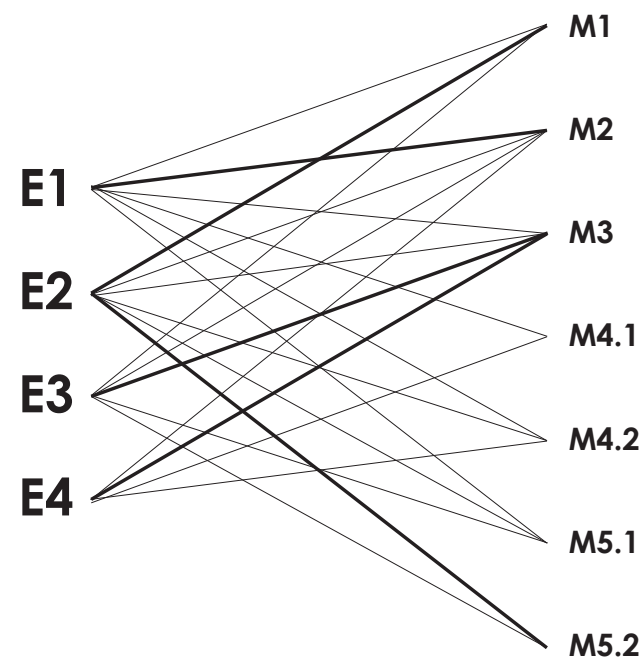


Figura 11.1: Rappresentazione grafica delle associazioni edificio-materiale dei casi studio. L'intensità di spessore delle linee è rappresentativa dei casi analizzati; Fonte: elaborazione personale;

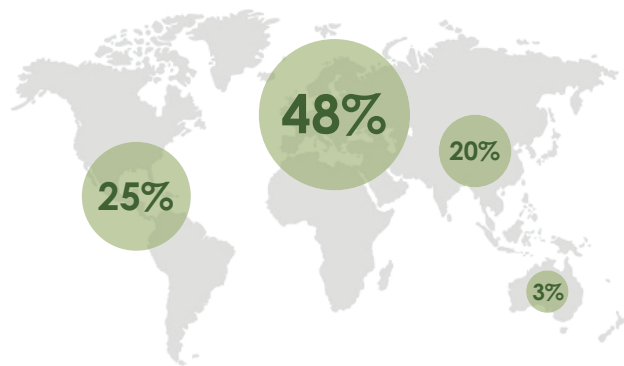


Figura 11.2: Suddivisione in percentuale di casi studio per continente; Fonte: elaborazione personale;

	E1	E2	E3	E4	TOT
Europa	9	1	7	4	21
America	5	4	1	1	11
Asia	5	3	0	1	9
Oceania	2	0	1	0	3

Tabella 11.1: Suddivisione dei casi studio per continente secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;

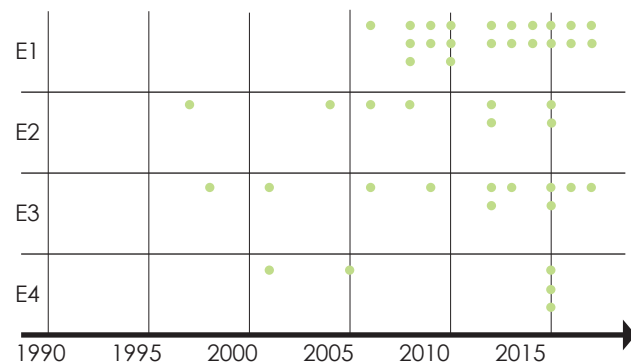


Tabella 11.2: Suddivisione dei casi studio per anno di costruzione secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;

usufruire per lo più di materiali di recupero proveniente da altri settori (M3), così come per gli edifici disassemblati e ricostruiti (E4).

Un'altra osservazione da evidenziare è data dalla contestualizzazione geografica dei casi studio: la maggior parte degli edifici analizzati è situata in Europa, successivamente in America, Asia e Australia (figura 11.2 e tabella 11.1). Questi dati mostrano, quindi, come in Europa vi sia una forte attenzione al tema del riciclo, del riuso e del recupero. Tuttavia è importante segnalare alcuni casi analizzati nei paesi in via di sviluppo, come ad esempio il caso di Una Escuela Sustentable di Michael Reynold in Uruguay o la Bima Microlibrary in Indonesia, in cui l'uso di materiali di scarto, come pneumatici, lattine di alluminio o vaschette di gelato in plastica, è spinto da un'esigenza economica piuttosto che da problematiche legate all'ambiente. L'architetto Michael Reynolds, ad esempio, conia il termine "Earthship" per intendere edifici realizzati avvalendosi di rifiuti, tra cui pneumatici, usati per le fondazioni e le pareti di elevazione, bottiglie di plastica e vetro o lattine di alluminio da rivestire come struttura per i pilastri. Oltre a consentire il recupero dei rifiuti abbandonati nelle discariche, queste realizzazioni permettono di ridurre al minimo i costi economici e per queste ragioni sono sperimentazioni tipiche delle popolazioni più povere.

Dal punto di vista della classificazione dei casi studio in base all'anno di costruzione si può da subito notare che, in qualsiasi categoria, la maggior parte dei casi analizzati è stata realizzata a partire dall'anno 2010, seguito, poi, da quelli realizzati tra il 2005 e il 2010. Questa prima analisi mostra, quindi, come il tema del riciclo, del riuso, e dell'economia circolare applicata all'edilizia, sia un tema decisamente contemporaneo; sono pochi, infatti, i casi realizzati prima dell'anno 2000 (tabella 11.2).

Dal punto di vista funzionale e tipologico risulta invece che la maggior parte dei casi individuati è, principalmente, di tipo residenziale e, secondariamente, di tipo culturale (musei, centri culturali, biblioteche, luoghi di culto, ecc.). Gli edifici disassemblati e ricostruiti sono per lo più edifici culturali temporanei; non sono stati trovati esempi di edifici residenziali realmente disassemblati e ricostruiti in altri siti (tabella 11.3).

	E1	E2	E3	E4	TOT
Residenza	10	3	4	0	17
Cultura	5	2	3	5	15
Ufficio	3	1	2	1	7
Istruzione	1	3	1	1	6
Altro	1	0	1	0	2

Tabella 11.3: Suddivisione dei casi studio per funzione secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;

Analizzando ora i principi progettuali dei vari casi studio è possibile definire quali sono stati, in generale, i principi maggiormente riscontrati nelle analisi. Il principio *design for deconstruction* (P1), che permette la possibilità di demolire selettivamente alcune componenti o tutte di edifici, risulta essere quello maggiormente riscontrato con ben 24 su 45 casi. Anche l'utilizzo di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita (P5) è un principio utilizzato da 24 casi su 45, garantendo la possibilità di reimmettere materiali e prodotti in un nuovo ciclo di vita. Particolare attenzione è stata posta anche in relazione alle distanze di approvvigionamento dei materiali e dei prodotti (P7): 21 casi su 45 infatti hanno utilizzato materiali nuovi, riciclati o riusati provenienti da stabilimenti o cantieri posti a una distanza non superiore ai 350 km riducendo notevolmente le emissioni e i consumi di energia dovute ai trasporti dei materiali.

Nonostante l'attenzione alla sostenibilità ambientale in edilizia sia una questione sempre più perseguita, considerando anche la promozione del tema energetico da parte delle normative, solamente 18 casi su 45 tra quelli analizzati hanno optato per l'uso di tecnologie e impianti che permettono un utilizzo sostenibile delle risorse di energia e acqua in fase d'uso (P8). 13 casi su 45 hanno gestito i rifiuti da demolizione e costruzione in maniera circolare (P6) reimmettendo parte dei rifiuti all'interno di nuovi progetti (ad esempio il caso S11 House e Clay Roof House in

cui materiali e componenti provenienti dalla demolizione della pre-esistenza sono stati riutilizzati o reimmessi nel ciclo di vita del nuovo edificio, oppure nel caso BRE Building in cui il 96% dei rifiuti prodotti da C&D è stato riutilizzato in altri edifici o mandato in centri di riciclaggio evitando il conferimento in discarica). Infine, sono 8 i casi studio dotati anche di certificazione di sostenibilità ambientale dell'edificio.

Per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione (E1) il principio più riscontrato è stato quello relativo all'uso di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita (P5) e all'uso di materiali reperiti localmente (P7), seguiti dall'uso efficiente delle risorse in fase d'uso (P8); gli edifici ricostruiti a seguito della demolizione totale della pre-esistenza sono caratterizzati principalmente dall'applicazione del principio relativo alla gestione dei rifiuti da C&D (P6), principalmente per la gestione dei rifiuti prodotti dalla demolizione dell'edificio esistente; gli edifici che mantengono e riusano l'edificio esistente, invece, hanno usufruito principalmente del principio della decostruzione e demolizione selettiva a fine vita (P1), così come per gli edifici disassemblati e ricostruiti in un altro sito che possono nuovamente essere disassemblati e ricostruiti. La certificazione di sostenibilità ambientale dell'edificio ha interessato per la maggior parte edifici di nuova costruzione ed edifici ricostruiti completamente (tabella 11.4).

	E1	E2	E3	E4	TOT
P1	9	4	6	5	24
P2	0	2	2	2	6
P3	3	1	0	0	4
P4	2	1	2	0	5
P5	11	4	5	4	24
P6	2	8	3	0	13
P7	10	7	3	1	21
P8	9	5	4	0	18
Certificazione	2	5	1	0	8

Tabella 11.4: Suddivisione dei casi studio per principi progettuali e certificazione di sostenibilità ambientale secondo gli scenari alla scala dell'edificio; Fonte: elaborazione personale;

CASO STUDIO	MATERIALI DI RIUSO							MATERIALI CON CONTENUTO DI RICICLATO				
	Legname	Metalli	Laterizi	Calcestruzzo	Plastiche	Pietra	Altri materiali	Legname	Metalli	Calcestruzzo	Plastiche	Altri materiali
Council House 2								•	•	•		
Conceptos Plasticos											•	
Sawmill House										•		
Sede Azienda Savno									•			•
People's Pavilion											•	
TVZEB												
Big Dig House		•		•								
Bima Microlibrary					•							
Dezanove House	•											
Jellyfish Theatre	•											
Temporary Pavilion		•										
Una Escuela Sustentable		•			•		•					
Barn Again	•											
Ningbo Museum			•			•						
Recycled Materials Collage	•											
Kamikatz Public House												
Ty Pren						•						
Upcycle House	•	•	•		•			•	•			
Villa Welpeloo	•	•									•	
Collage House	•	•				•						
Waste House			•				•			•		•
Capilla San Bernardo			•									
California Academy of Sciences									•	•		
Clay Roof House			•									
Tongjiang Recycled Brick School			•							•		•
S11 House	•		•							•		
School of Nursing			•						•	•		
Chartwell School	•									•		
BRE Building	•	•	•			•				•		
Auditorium Niccolò Paganini												
Brin 69												
Casa Mediterraneo												
Gemini Residence												
Leszczynski Antoniny Manor Intervention												
The Silo												
Aizkibel Library Extension	•											
Protiro					•							
Sidwell Friends Middle School	•											
Cubo House		•	•				•					
Alliander hq	•	•								•		
Metamorfose												
Padiglione Kuwait												
Padiglione Uruguay												
Nomadic Museum		•					•					
Circular Pavilion	•						•					

Tabella 11.5: Individuazione dei materiali di riuso e con contenuto di riciclato dei casi studio; Fonte: elaborazione personale;

Spostando ora l'attenzione, più in dettaglio, ai materiali di riuso e con contenuto di riciclato all'interno dei casi studio, è possibile definire il quadro generale riportato nella pagina precedente (tabella 11.5). Per quanto riguarda i materiali di riutilizzo impiegati all'interno dei casi studio, è emerso che il materiale maggiormente riutilizzato è il legno, con 15 casi su 45, seguito da metalli e laterizi, entrambi con 10 casi su 45. Per quanto riguarda, invece, i materiali con contenuto di riciclato, il calcestruzzo, specialmente prodotto con aggregati riciclati, risulta essere la soluzione maggiormente presente con 10 casi su 45. Al secondo posto si trovano metalli con contenuto di riciclato, principalmente acciaio e alluminio. Sono, invece, in minoranza le materie plastiche riciclate e i materiali lignei con contenuto di riciclato.

CASO STUDIO	PARTI D'OPERA E PRODOTTI DI RIUSO						PARTI D'OPERA E PRODOTTI CON CONTENUTO DI RICICLATO					
	Struttura portante	Rivestimento di facciata	Infissi	Isolante	Finiture interne	Arredi	Struttura portante	Rivestimento di facciata	Infissi	Isolante	Finiture interne	Arredi
Council House 2							•	•				
Conceptos Plasticos							•					
Sawmill House							•					
Sede Azienda Savno							•	•		•		
People's Pavilion								•	•			
TVZEB										•		
Big Dig House	•											
Bima Microlibrary		•										
Dezanove House		•										
Jellyfish Theatre	•											
Temporary Pavilion	•											
Una Escuela Sustentable	•											
Barn Again	•	•										
Ningbo Museum		•										
Recycled Materials Collage		•	•									
Kamikatz Public House			•			•						
Ty Pren		•										
Upcycle House	•		•		•	•		•		•	•	
Villa Welpeloo	•	•	•	•		•					•	
Collage House		•	•		•							
Waste House	•	•		•						•		
Capilla San Bernardo	•											
California Academy of Sciences							•			•		
Clay Roof House		•										
Tongjiang Recycled Brick School		•										
S11 House		•			•						•	
School of Nursing		•					•	•				
Chartwell School		•			•							
BRE Building		•			•		•					
Auditorium Niccolò Paganini	•											
Brin 69	•											
Casa Mediterraneo	•											
Gemini Residence	•											
Leszczynski Antoniny Manor Intervention	•											
The Silo	•											
Aizkibel Library Extension	•	•										
Profiro	•	•										
Sidwell Friends Middle School		•			•							
Cubo House		•										
Alliander hq	•	•								•		
Metamorfose												
Padiglione Kuwait												
Padiglione Uruguay												
Nomadic Museum	•						•					
Circular Pavilion	•	•	•	•	•	•						

Tabella 11.6: Individuazione dei prodotti e delle parti d'opera di riuso e con contenuto di riciclato dei casi studio; Fonte: elaborazione personale;

Analizzando, invece, i prodotti e le parti d'opera che utilizzano materiale di riuso o con contenuto di riciclato, si può definire il quadro generale riportato nella pagina precedente (tabella 11.6). Per quanto riguarda le parti d'opera risulta che il rivestimento di facciata è l'elemento maggiormente realizzato con materiale di riuso con 21 casi su 45, seguito dalla struttura portante, con 20 casi su 45, che ha interessato per lo più i casi che riusano l'edificio esistente. Le finiture interne, quali pavimentazioni, rivestimenti interni, ecc., risultano essere al terzo posto con 7 casi studio, seguiti dal riuso degli infissi. I materiali isolanti recuperati da altri edifici o da scarti di produzione risultano invece essere in minoranza, probabilmente a causa della perdita prestazionale del prodotto e, di conseguenza, alla difficoltà di reimpiegare in una nuova costruzione tale prodotto. Al contrario gli isolanti prodotti con contenuto di riciclato (ad esempio realizzati con scarti di tessuti jeans o rifiuti di carta da giornale, sughero, ecc.) risultano essere al secondo posto per quanto riguarda le parti d'opera e i prodotti realizzati con materiali riciclati, con 6 casi su 45. Al primo posto, invece, sono presenti le strutture portanti (specialmente in acciaio e calcestruzzo armato) realizzate con materiale con contenuto di riciclato, con 8 casi su 45.

CASO STUDIO	STRUTTURA PORTANTE		INVOLUCRO E PARTIZIONI	
	Soluzioni costruttive a secco	Soluzioni costruttive a umido	Soluzioni costruttive a secco	Soluzioni costruttive a umido
Council House 2		•		•
Conceptos Plasticos	•		•	
Sawmill House		•	•	•
Sede Azienda Savno	•		•	
People's Pavilion	•		•	
TVZEB	•		•	
Big Dig House	•	•	•	
Bima Microlibrary	•		•	
Dezanove House		•		•
Jellyfish Theatre	•		•	
Temporary Pavilion	•		•	
Una Escuela Sustentable	•	•		•
Barn Again	•		•	
Ningbo Museum		•		•
Recycled Materials Collage	•		•	
Kamikatz Public House	•		•	
Ty Pren	•		•	
Upcycle House	•		•	
Villa Welpeloo	•		•	
Collage House		•		•
Waste House	•		•	
Capilla San Bernardo		•		•
California Academy of Sciences	•	•		•
Clay Roof House		•	•	•
Tongjiang Recycled Brick School		•		•
S11 House		•	•	•
School of Nursing		•	•	
Chartwell School	•		•	
BRE Building		•		•
Auditorium Niccolò Paganini	•	•		•
Brin 69	•		•	
Casa Mediterraneo	•	•	•	
Gemini Residence	•	•	•	•
Leszczynski Antoniny Manor Intervention		•		•
The Silo		•	•	
Aizkibel Library Extension	•	•		•
Protiro	•		•	
Sidwell Friends Middle School		•	•	•
Cubo House	•	•	•	•
Alliander hq	•	•	•	
Metamorfose	•		•	
Padiglione Kuwait	•		•	
Padiglione Uruguay	•		•	
Nomadic Museum	•		•	
Circular Pavilion	•		•	

Tabella 11.7: Analisi dei casi studio in base ai sistemi costruttivi a secco o a umido; Fonte: elaborazione personale;

Un'ultima lettura e analisi dei casi studio è quella relativa ai sistemi costruttivi utilizzati nei progetti suddivisi in base alla struttura portante, all'involucro e alle partizioni interne. I sistemi costruttivi a umido si riferiscono per lo più alle tecnologie che utilizzano leganti idraulici e aerei o modalità di posa in opera attraverso l'impiego di adesivi. Le strutture portanti, principalmente, sono realizzate in calcestruzzo armato. È opportuno precisare che all'interno dell'analisi, tuttavia, le strutture di fondazione non sono state prese in considerazione in quanto in quasi tutti i casi (ad eccezione degli edifici ad uso temporaneo che sono privi di strutture di fondazione) sono realizzate a umido in calcestruzzo armato; sono state quindi considerate solamente le strutture di elevazione verticale, orizzontale e di copertura. I sistemi costruttivi a secco, invece, si riferiscono alle tecnologie e alle modalità di posa in opera che utilizzano saldature, sistemi a serraggio (bullonature, chiodature, ecc.), modalità a incastro o ad accostamento. Tipicamente le strutture portanti a secco riscontrate sono realizzate in acciaio o legno.

Dall'analisi critica svolta sui casi studio è emerso che, per quanto riguarda le strutture portanti, 22 su 45 casi utilizzano strutture portanti a secco che permettono quindi una maggiore facilità e possibilità di decostruzione e riutilizzabilità o riciclabilità degli elementi. 14 casi su 45, invece, utilizzano strutture portanti realizzate a umido, che quindi non consentono di demolire selettivamente e recuperare elementi strutturali.

Infine 8 casi studio utilizzano sistemi sia a secco che a umido (tipicamente nelle combinazioni calcestruzzo-acciaio o calcestruzzo-legno). Per quanto riguarda, invece, i sistemi costruttivi dell'involucro e delle partizioni interne verticali e orizzontali non portanti è emerso che 27 casi su 45 utilizzano sistemi a secco, mentre 11 casi utilizzano sistemi a umido e, infine, 6 casi utilizzano sistemi sia a secco che a umido.

PARTE III

ANALISI LCA E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dopo aver approfondito nella prima parte dell'elaborato di tesi la problematica dei rifiuti e dei consumi eccessivi di risorse e il concetto di economia circolare, partendo dalle sue origini fino ad arrivare alle più recenti interpretazioni ed applicazioni specifiche del settore edilizio, e dopo aver individuato una serie di casi studio in cui sono state sperimentate differenti strategie di applicazione della *circular economy*, è necessario ora, in quest'ultima parte della tesi, analizzare e interpretare le informazioni e i dati ricavati in precedenza così da poter svolgere un approfondimento di tipo critico-interpretativo riguardo alle tematiche sviluppate nelle prime parti della tesi. Più in dettaglio, l'obiettivo principale di questo lavoro è individuabile nella volontà di comprendere quali sono le cause e le motivazioni per cui l'economia circolare nel settore edilizio risulta ancor poco applicata, e di conseguenza quali sono le strategie di applicazione più adatte e le linee guida per una corretta applicazione, in relazione al contesto socio-culturale e geografico, alle differenti tipologie edilizie e alle disponibilità economiche. Per far emergere tutto ciò, ci siamo avvalsi in primo luogo dei numerosi casi studio ricercati, così da avere dei riferimenti reali su cui sviluppare una serie di considerazioni critiche e individuare le tematiche da affrontare; in secondo luogo, grazie a delle applicazioni puntuali sui casi studio della metodologia del Life Cycle Assessment, si è potuto ricavare dei dati oggettivi riguardo agli impatti ambientali relativi

agli edifici, che ci consentiranno di identificare un quadro più chiaro riguardo all'applicazione dell'economia circolare in edilizia e indirizzeranno la progettazione verso un più consapevole impiego di queste strategie.

12

SCENARI D'INTERVENTO A CONFRONTO

12.1 Nuova costruzione o riuso dell'esistente: criticità e punti di forza

In ordine gerarchico, in ottica circolare, la realizzazione di un nuovo edificio risulta essere più impattante sotto il profilo ambientale rispetto al riuso di un edificio esistente ma anche in questo caso è opportuno specificare più nel dettaglio i pro e i contro di ogni strategia e cercare di comprendere quali sono i fattori che incrementano più o meno la possibilità di realizzare un edificio in ottica circolare.

12.1.1 Nuova costruzione su suolo libero

La costruzione di un nuovo edificio presuppone un ingente utilizzo di nuovo materiale e l'occupazione di suolo vergine e ciò comporta impatti notevoli sotto il punto di vista ambientale. La fase progettuale gioca dunque un importante ruolo nella realizzazione di un edificio cosiddetto "circolare", in quanto anche una nuova costruzione, se progettata in quest'ottica, può risultare conveniente a lungo termine sotto il profilo circolare: optare per sistemi costruttivi prefabbricati, assemblati a secco con la possibilità di un loro

completo disassemblaggio e riutilizzo all'interno di nuovi edifici, la scelta di materiali riciclati o riutilizzati sono tutte strategie progettuali che consentono un recupero totale, a fine vita, dell'edificio e un risparmio notevole di materia prima e di energia.

12.1.2 Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione nuovo edificio nello stesso sito

Correlata al primo scenario d'intervento è la demolizione totale e ricostruzione di nuovo edificio: questo scenario è considerato a livello teorico migliore rispetto alla costruzione di un nuovo edificio su suolo vergine perché consente di ricostruire sullo stesso suolo senza dover consumarne di ulteriore. Inoltre, a seguito della demolizione, è possibile riciclare o recuperare parte del materiale, da utilizzare nella nuova costruzione o da rendere disponibile per altri costruttori, contribuendo così, in un'ottica circolare, alla riduzione nell'utilizzo di materie prime e nella produzione di rifiuti da conferire in discarica. Anche in questo caso sono molti dunque i fattori che concorrono alla realizzazione di un processo circolare e la riuscita o meno dipende molto dalle caratteristiche dell'edificio esistente e dalla progettazione del nuovo. In particolare se l'edificio esistente giace in uno stato conservativo buono, con porzioni assemblate a secco e dunque facilmente recuperabili, è possibile riutilizzare o recuperare

Nuova costruzione su suolo libero

VANTAGGI

- Edificio più performante dal punto di vista energetico e tecnologico;
- Possibilità di progettare per il disassemblaggio a fine vita dell'edificio.

SVANTAGGI

- Utilizzo di nuovo materiale;
- Utilizzo di suolo vergine;
- Maggiori impatti sull'ambiente.

Demolizione totale edificio esistente e ricostruzione nuovo edificio nello stesso sito

VANTAGGI

- Edificio più performante dal punto di vista energetico e tecnologico;
- Possibilità di progettare per il disassemblaggio a fine vita dell'edificio;
- Costruzione su suolo già edificato;
- Possibilità di recuperare o riciclare il materiale da demolizione.

SVANTAGGI

- Utilizzo di nuovo materiale;
- Maggiori impatti sull'ambiente.

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti

VANTAGGI

- Recupero totale o in parte dell'edificio esistente;
- Minor utilizzo di nuovo materiale;
- Minori impatti sull'ambiente.

SVANTAGGI

- Edificio meno performante dal punto di vista energetico e tecnologico;
- Difficoltà di adattamento a nuovi utilizzi in quanto edificio poco flessibile;

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

VANTAGGI

- Progettazione per il disassemblaggio a fine vita dell'edificio;
- Recupero totale dell'edificio esistente;
- Ridotto, se non nullo, utilizzo di nuovo materiale;
- Ridotti impatti sull'ambiente;
- Assenza di rifiuti da C&D.

SVANTAGGI

- Elevati costi di smontaggio e ricostruzione;
- Difficoltà burocratiche e normative.

molto materiale; allo stesso tempo se l'edificio esistente versa in uno stato avanzato di abbandono ed è realizzato con materiale assemblato ad umido, la quantità di materiale da recuperare o riciclare sarà pressoché pari allo zero. Per queste ragioni è evidente come la fase progettuale sia quella che più influenza una buona applicazione dell'economia circolare in edilizia: più l'edificio è pensato per essere disassemblato a fine vita più risulterà possibile riutilizzarlo o recuperare i suoi materiali e componenti, contribuendo notevolmente alla riduzione dell'utilizzo di materie prime e alla produzione di rifiuti.

12.1.3 Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti

Il principale vantaggio del riuso, rispetto alle altre strategie d'azione, è dato, come evidente, dalla possibilità di recuperare in tutto o in parte l'edificio esistente, senza dover ricorrere alla demolizione totale e ricostruzione di un nuovo edificio. Questo scenario d'intervento risulta dunque essere migliore rispetto alla realizzazione di un nuovo edificio poiché consente di recuperare più materiale possibile dall'edificio esistente e di risparmiare energia e materie prime che altrimenti verrebbero consumate per la realizzazione di un nuovo edificio. D'altro canto, prima di operare un intervento di recupero e riuso di un edificio, risulta necessario compiere una valuta-

zione completa dell'edificio, al fine di analizzare costi e benefici del riuso e valutarne l'effettiva convenienza. Molto spesso, infatti, gli interventi necessari per il recupero di un edificio sono così elevati da preferire, sia in termini di costi economici che in termini di costi ambientali, la demolizione completa dell'edificio e la successiva realizzazione di uno nuovo, cercando piuttosto di recuperare e/o riciclare il più possibile materiale e componenti edili provenienti dalla demolizione. Intervenire su un edificio esistente significa dunque, spesso, andare incontro a vincoli tecnologici decisamente significativi: la maggior parte degli edifici esistenti, infatti, è stata realizzata con tecniche costruttive tradizionali, con assemblaggi ad umido e con rigide distribuzioni interne che non consentono quindi il recupero degli elementi e l'adattamento interno a nuove funzioni tramite il disassemblaggio ma solo attraverso operazioni di demolizione di tipo collettivo, che spesso risultano essere più onerose, in termini economici ed ambientali, rispetto alla realizzazione di un nuovo edificio progettato in ottica circolare.

12.1.4 Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

Quest'ultimo scenario d'intervento rappresenta la soluzione migliore e più vantaggiosa dal punto di vista ambientale e sotto il profilo circolare

in quanto racchiude la maggior parte dei vantaggi ottenibili dagli scenari d'intervento precedenti: questa pratica presuppone che, già durante le prime fasi di progettazione, l'edificio sia pensato in ottica circolare, ovvero progettato per essere disassemblato e, successivamente, ricostruito. Il disassemblaggio, infatti, ha il notevole vantaggio di limitare al minimo la produzione di rifiuti, in quanto i materiali e i componenti, una volta disassemblati, possono essere interamente riutilizzati per la ricostruzione dell'edificio; inoltre ciò consente di non dover utilizzare nuovi materiali e quindi contribuisce alla riduzione del consumo di risorse naturali e di energia. Purtroppo, nonostante rappresenti sotto il profilo teorico lo scenario migliore, risulta ad oggi essere ancora la pratica meno applicata per il settore edile e ciò è dovuto a differenti fattori. Prima di tutto in termini economici progettare un edificio che sia completamente smontabile e ricostruirlo in un altro sito risulta essere un'operazione molto costosa, la quale necessita di progettisti e mano d'opera qualificata e aggiornata nei confronti di questa tematica. Inoltre, a livello burocratico e normativo, la ricostruzione di un edificio disassemblato in altro sito comporta molte problematiche e difficoltà nell'organizzazione, tanto che molto spesso si preferisce la realizzazione di un nuovo edificio piuttosto che il montaggio dell'edificio disassemblato. In questo senso è possibile ad oggi riscontrare la presenza di molti edifici progettati per il disassemblaggio ma davvero

pochi sono i casi in cui il disassemblaggio e la successiva ricostruzione sono avvenute realmente.

12.1.5 Conclusioni

Dopo aver redatto un quadro generale sui differenti scenari applicabili agli edifici, individuando i pro e i contro di ogni strategia, ciò che è emerso è l'impossibilità di definire a priori quale sia la strategia migliore o quella peggiore, poiché i fattori in gioco sono molteplici. Per queste ragioni è necessario compiere una valutazione completa relativa agli scenari che tenga conto di tutti i benefici e tutti gli svantaggi che si possono riscontrare al fine di effettuare scelte che, sia dal punto di vista ambientale che da quello economico, siano più convenienti in termini globali: in questo senso le analisi LCA e le analisi LCC sono gli strumenti più adatti a definire quali sono le migliori strategie da attuare e porle a confronto fra di loro. In questo senso, sono molti infatti gli studi LCA, condotti negli ultimi anni, volti ad individuare una serie di dati reali e oggettivi in termini di impatti ambientali evitati grazie all'utilizzo di metodologie attente all'economia circolare. Il Centro di Ricerca dell'Università di Bologna ha condotto ad esempio un'analisi LCA per dimostrare l'effettivo vantaggio della demolizione selettiva dell'edificio "Ex Sarsa" a Reggio Emilia rispetto alla demolizione tradizionale di

	VAMP selective demolition-valorization				Traditional demolition-valorization			
	Dem.	Trans.	Rec.	Avoided processes	Dem.	Trans.	Landfill/R ec.	Avoided processes
clay tiles and lath bricks		2780 MJ	3140 MJ	-112.8 t gravel -7800 MJ		4160 MJ	29.6 t soil 2040 MJ 110 t waste	
wood roof trusses	847 MJ			-11.2 t wood -13400 MJ -0.45 kg waste	847 MJ			-11.2 t wood -13400 MJ -0.45 kg waste
wood parts	2140 MJ	8840 MJ	1480 MJ	-75.9 t wood -43600 MJ -1.46 kg waste	1670 MJ	1330 MJ	9.45 t soil 650 MJ 35 t waste	
porphyry bricks	4500 MJ	16700 MJ	5730 MJ	-216 t gravel and -447 t porphyry -56400 MJ -159 kg waste	4500 MJ	25000 MJ	178 t soil 12300 MJ 660 t waste	
clay bricks	22600 MJ	8800 MJ	3010 MJ	-113 t gravel and -343 t clay 1110000 MJ -23.9 t waste	14500 MJ	13300 MJ	94.5 t soil 6500 MJ 350 t waste	
iron parts	64.6 MJ	101 MJ	39.2 MJ	-1.45 t iron ore -52000 MJ -778 kg waste	33.7 MJ	101 MJ	39.2 MJ	-1.45 t iron ore -52000 MJ -778 kg waste
Total of life-cycle stages	30.1 GJ	37.2 GJ	13.4 GJ	-1320 t resource -1283 GJ -24.8 t waste	21.5 GJ	43.9 GJ	311.5 t soil 21.5 GJ 1155 t waste	-12.6 t resource -65.4 GJ -0.8 t waste
Total of life-cycle				-1320 t resource -1200 GJ energy -24.8 t waste			299 t resource 21.6 GJ energy 1154 t waste	

Tabella 12.1: Comparazione tra risorse, energia incorporata e rifiuti prodotti dalla demolizione selettiva e dalla demolizione tradizionale collettiva; Fonte: <http://www.regione.emilia-romagna.it/vamp>;

Riciclo

VANTAGGI

- Risparmio di materia prima;
- Riduzione quantitativo dei rifiuti;
- Reimmissione del materiale in più cicli di vita;
- Possibilità di creare materiale di maggior qualità rispetto all'origine (upcycle);

SVANTAGGI

- Consumo energetico in fase di produzione del materiale di riciclo;
- Variabilità in base al materiale;
- Possibilità di creare materiale di minor qualità rispetto all'origine (downcycle);

tipo collettivo. Ciò che è emerso è la notevole riduzione dei rifiuti da demolizione conferiti in discarica, dell'energia incorporata prodotta nelle fasi di trasporto e di riutilizzo e del consumo di nuova materia prima: è infatti stata evitata l'estrazione di 447 t di porfido, 442 t ghiaia, 343 t di argilla, 87 t di legno e 1,45 t di minerale di ferro. Questo breve caso studio è solo uno tra i tanti esempi di valutazioni LCA volte alla verifica degli impatti generati da soluzioni innovative di progettazione e gestione dell'edificio rispetto alle soluzioni di tipo tradizionale, ma ci consente di comprendere in modo concreto e diretto le ricadute delle scelte intraprese.

12.2 Riciclo e riuso del materiale

12.2.1 Criticità e punti di forza

Gli scenari d'intervento relativi al fine vita dei materiali e dei componenti edilizi trattati all'interno dei casi studio sono, come già esposto nel Capitolo 8, il Riciclo e il Riuso. Nonostante entrambe le pratiche incentivino l'applicazione di un'economia circolare al settore edile, in quanto permettono un ingente risparmio di materia prima rispetto all'utilizzo di nuovi materiali e generano una ridotta quantità di scarti e rifiuti edili, esse non sono esenti da problematiche e criticità. Prima di tutto è opportuno specificare che la pratica del riciclo risulta essere più sfavorevole

rispetto al riuso in quanto il materiale, per essere riciclato, ha bisogno di essere sottoposto ad una serie di lavorazioni e trattamenti che richiedono essi stessi un ulteriore consumo di energia e quindi ulteriori impatti sull'ambiente: è addirittura possibile che il riciclaggio utilizzi più energia rispetto a quella utilizzata per la produzione di materiale proveniente da materie prime. Inoltre la convenienza, o meno, del riciclaggio dei materiali varia a seconda del materiale: ad esempio il riciclaggio del vetro permette di ridurre solamente del 20% i consumi di energia rispetto al nuovo, nonostante possa essere rifuso infinite volte grazie alle sue proprietà; in altri casi invece, come visto ad esempio nell'alluminio, il riciclaggio permette di ridurre quasi del 90% i consumi di energia rispetto al nuovo (<http://www.ecoricicli.it/>). D'altro canto però il riciclo permette di reimmettere più volte il materiale all'interno di più cicli di vita basti pensare ad esempio all'alluminio che può essere riciclato al 100%, tendenzialmente all'infinito, senza che il materiale perda le proprie qualità prestazionali fondamentali. Questo però può non avvenire per il riciclaggio di altri materiali quali ad esempio le plastiche che perdono parte della loro lavorabilità: infatti, molto spesso il riciclo di materiale porta alla creazione di un materiale con qualità, valore e prestazioni più basse rispetto all'origine (Downcycling).

La pratica del riuso invece, sia esso interno o esterno al settore edile, con medesima o diffe-

rente funzione, consente di risparmiare completamente l'uso di materia prima e risorse e, quasi del tutto, anche l'energia incorporata del materiale, in quanto il materiale può essere reintrodotta per nuovi scopi senza dover subire lavorazioni aggiuntive. Inoltre è importante non tralasciare anche la tematica del trasporto del materiale, dove ancora una volta il riuso risulta essere molto più conveniente rispetto al riciclo: la pratica del riciclo presuppone la lavorazione del materiale in centri appositi di riciclaggio di materiali che talvolta possono essere situati a grandi distanze dal cantiere dell'edificio aumentando notevolmente gli impatti ambientali totali; il riuso, invece, in molti casi avviene direttamente all'interno del cantiere in quanto il materiale riusato proviene dalla demolizione del precedente edificio. Per queste ragioni, a differenza del riciclo che, tramite lavorazioni aggiuntive, produce un materiale con caratteristiche di resistenza e durabilità pressoché pari a quelle di un nuovo materiale (anche in questo caso dipende molto dalla tipologia di materiale), nel riuso è necessario valutare le prestazioni residue e lo stato di conservazione del materiali prima che essi vengano riutilizzati per nuovi impieghi. In entrambe le soluzioni è quindi fondamentale sempre valutare la convenienza di riutilizzare o riciclare materiale in base alla distanza dal luogo di approvvigionamento.

In conclusione è importante sostenere che, seb-

bene il riuso risulti in linea generale migliore rispetto al riciclo, è necessario compiere una valutazione e una verifica completa, che dipende da caso a caso, per valutare qual è effettivamente l'operazione più conveniente in ottica circolare.

12.2.2 Valutazione delle prestazioni residue dei materiali di riutilizzo

Non tutti i materiali di recupero in edilizia, a loro fine vita utile, possono essere riutilizzati nuovamente. Ciò dipende dalle loro condizioni di conservazione e qualità, ovvero se le caratteristiche dell'elemento riutilizzato sono compatibili o meno con il nuovo impiego. Il criterio utilizzato per valutare l'idoneità al riuso è quello della prestazione residua, valutabile attraverso delle verifiche riguardo alle esigenze (funzione, aspetto, geometria), ai requisiti (Resistenza meccanica, durabilità, integrità superficiale, regolarità dimensionale, ecc) e alle prestazioni che il materiale deve svolgere (compattezza, omogeneità, assenza di batteri e muffe, assenza di avvallamenti, ecc.) (Norma UNI 10838:1999). Con questo termine si intende la capacità di un materiale o di un componente di espletare una nuova funzione, coincidente o meno con quella iniziale, e tale prestazione è variabile in funzione dello stato di conservazione nonché delle sue caratteristiche tecniche e prestazionali. Definire il livello di prestazione residua di un materiale da riutilizzare

Riuso

VANTAGGI

- Risparmio di materia prima;
- Risparmio di energia;
- Riduzione quantitativo dei rifiuti;
- Possibilità di utilizzo immediato del materiale;
- Nessuna lavorazione aggiuntiva;

SVANTAGGI

- Ridotti livelli prestazionali;
- Stato conservativo inferiore al nuovo;

è di fondamentale importanza in quanto permette di conoscere le proprietà del materiale e al contempo definire il tipo di trattamento o ripristino necessario. Si possono dunque distinguere tre differenti livelli di prestazione residua e relative lavorazioni da effettuare:

- Livello di prestazione alto: gli elementi tecnici sono ancora in grado di fornire prestazioni tecnologiche adeguate e sono integri. Si interverrà attraverso manutenzioni minime e piccole aggiunte di materia;

- Livello di prestazione medio: gli elementi tecnici non sono in grado di fornire prestazioni tecnologiche adeguate ai livelli minimi richiesti e sono integri. Si tratterà di valutare quale sia la necessità di implementazione e su quale strato funzionale, materiale o componente intervenire;

- Livello di prestazione basso: gli elementi tecnici non sono in grado di fornire prestazioni tecnologiche adeguate ai livelli minimi richiesti e non sono integri: presentano dissesti strutturali e degradi fisico-chimici sia riferiti alle parti che all'insieme.

Questa classificazione ci permette di comprendere meglio quale sia lo stato conservativo sia degli edifici in abbandono e in disuso sia dei singoli materiali dal momento in cui si voglia smontarli selettivamente e reimpiegar-

li. Ciò è di fondamentale importanza in quanto ci evidenzia fino a che punto il recupero di materia sia vantaggioso rispetto alla pratica del riciclo o dell'utilizzo di nuova materia.

12.2.3 Durabilità

Il requisito della durabilità, definito in Italia dalla norma UNI 11156 "Valutazione della durabilità dei componenti edilizi", è relativo al comportamento nel tempo dei materiali e indica la capacità di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo precisato, sotto l'influenza degli agenti previsti in attività, con la minor probabilità di guastarsi nell'arco della sua vita utile. È infatti comprovato che ogni materiale subisce una naturale caduta prestazionale nel tempo, la quale varia molto in base sia alle caratteristiche tecnico-meccaniche del materiale sia in base al suo stato di manutenzione e conservazione, e affinché possa essere reimpiegato è necessario che il materiale garantisca dei livelli minimi prestazionali, al di sotto dei quali non è più in grado di dare una risposta efficace in relazione alla funzione richiesta. Nel caso in cui, al contrario, il materiale non garantisce più determinati livelli prestazionali, i materiali possono essere reimpiegati per funzioni differenti e minori. Materiali resistenti saranno più duraturi nel tempo e di più facile riutilizzo, materiali invece poco resistenti intrinsecamente e nei confronti degli agenti

esterni avranno una vita utile più breve e al tempo stesso risulteranno di difficile reimpiego. Per quanto riguarda infatti i materiali riutilizzati che provengono da altri settori è necessario procedere con ancor più cautela in quanto sono molto spesso rifiuti o componenti industriali, realizzati per assolvere funzioni e prestazioni molto differenti rispetto a quelle richieste per il settore edile e per questa ragione risultano molto meno duraturi nel tempo rispetto ai materiali edili.

Infine è opportuno ricordare che la durabilità di un materiale è influenzata, oltre che dalle caratteristiche intrinseche del materiale stesso, anche dai fattori esterni, e per questo motivo un'adeguata e costante manutenzione aiuta a mantenere il più possibile intatte le caratteristiche del materiale riducendone il degrado nel tempo.

12.2.4 Adeguatezza tecnologica e dimensionale

I materiali di riutilizzo, sotto il profilo tecnologico, devono rispettare precisi livelli riguardanti le prestazioni residue di funzionalità, aspetto e geometria, oltre che al già citato stato di conservazione riferito ai fenomeni di degrado e dissesto maggiormente probabili per le tipologie di materiali e componenti considerati. Una volta analizzati i livelli prestazionali del materiale da riutilizzare in relazione alla funzione che andrà a ricoprire è necessario valutare la possibilità effettiva di riutilizzare il materiale rapportandosi con il livello di

prestazione richiesto oggi dagli edifici: se il materiale rispetta lo standard di prestazione oggi richiesto può essere reimpiegato senza difficoltà nell'edificio, in caso contrario si provvederà ad individuare le alternative tecniche di intervento in relazione ai relativi potenziali impatti dovuti ai materiali necessari per raggiungere il livello prestazionale richiesto.

Molto spesso infatti, un materiale innovativo di nuova generazione con elevati livelli di prestazione, ad esempio termico acustica, in un processo circolare può risultare comunque più vantaggioso rispetto al riutilizzo di un materiale esistente, il quale non è però più in grado di garantire nemmeno i livelli minimi richiesti: se nel primo caso l'impatto sull'ambiente sarà generato a seguito dell'utilizzo di nuova materia prima e della lavorazione, l'edificio guadagnerà molto in termini di contenimento dei consumi energetici, nel secondo caso invece, non si genereranno impatti relativi all'uso di materia prima in quanto materiale di recupero, ma si verificheranno numerosi impatti relativi al consumo energetico. Tutto ciò rende evidente l'importanza di un'attenta ed accurata scelta del materiale: si pensi ad esempio al riuso di infissi recuperati da vecchi edifici demoliti (come nei casi studio Kamikatz Public House, Collage House e Recycled Cottage Materials) che, applicato al contesto italiano o europeo, risulta pressoché inattuabile, in quanto il valore di trasmittanza termica del vetro di recu-



Figura 12.1: Serramenti di recupero della Kamikatz Public House, Giappone, 2015; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 12.2: Serramenti di recupero della Recycled Cottage Materials, Cile, 2008; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;



Figura 12.3: Elementi in calcestruzzo e acciaio provenienti dallo smantellamento dell'autostrada Big Dig, Big Dig House, US, 2008; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

però non soddisfa i requisiti imposti dalle normative vigenti. Inoltre, a differenza ad esempio del riciclo che comporta la fusione del vetro, il riuso, in questo caso, di un infisso comporta un limite legato alla dimensione e alla geometria del prodotto da utilizzare in un nuovo edificio. Inoltre, rispetto ad altri contesti europei ed extra europei, in Italia recuperare componenti da reintrodurre come elementi strutturali rappresenta una soluzione ancor oggi di difficile applicazione nel nostro contesto, in quanto come anticipato in precedenza non esistono regolamentazioni volte ad indicare un livello prestazionale minimo dei componenti di riuso e inoltre le normative vigenti in campo strutturale sono molto stringenti.

Oltre infatti alla marcatura CE esistono molti altri organismi di attestazione delle prestazioni dei materiali edili strutturali nonché il rispetto di specifiche normative in campo ambientale e tecnologico, che rendono quindi più difficoltoso ampliare la pratica del riuso anche ai componenti strutturali dell'edificio. In altri contesti invece la normativa risulta più aperta nei confronti di questa pratica e il caso studio Big Dig House, a Lexington negli Stati Uniti, rappresenta un ottimo punto di partenza riguardo all'applicazione di questa strategia: il riuso, infatti, non si è limitato alle componenti di rivestimento esterno e interno delle pareti ma si è esteso anche alla parte strutturale dell'edificio, grazie al recupero di travi in acciaio e porzioni di cemento prefabbricato

derivante dalla demolizione di un'autostrada nelle vicinanze. In questo caso ciò è stato reso possibile in quanto la portata strutturale delle travi inserite nell'edificio supera di gran lunga quella richiesta di legge per un'abitazione residenziale e i regolamenti in questo settore non considerano la materia di riuso inferiore rispetto ai nuovi materiali.

Nel contesto italiano invece la pratica del riuso rimane applicata in modo poco assiduo e solo per le parti non strutturali dell'edificio, principalmente quelle legate all'involucro esterno in quanto le normative vigenti e l'ideologia della nostra società è ancora poco propensa a considerare i materiali recuperati affidabili così come i nuovi materiali.

12.2.5 Indoor Air Quality

Il concetto di Indoor Air Quality, sviluppatosi negli ultimi vent'anni, indica la qualità dell'aria interna che si respira negli ambienti confinati quali abitazioni, uffici pubblici e privati, strutture comunitarie, ambienti destinati ad attività ricreative e sociali e mezzi di trasporto pubblici e/o privati. Si tratta quindi di ambienti nei quali la popolazione trascorre gran parte del proprio tempo sottostando ad un prolungato contatto con le potenziali sorgenti di inquinamento. Studi condotti in paesi altamente industrializzati quali gli Stati Uniti, hanno rivelato che la popolazione

trascorre una parte molto rilevante del proprio tempo (fino al 90%) negli ambienti confinati e questa alta percentuale ha condotto a studi avanzati sulla questione del problema dell'inquinamento dell'aria indoor.

La questione che in questo paragrafo preme approfondire è la stretta relazione tra qualità dei materiali e salubrità dell'ambiente costruito: essa ci fa comprendere come i materiali e i componenti edilizi che compongono l'edificio siano i principali portatori di inquinamento dell'aria interna e per queste ragioni verificare le condizioni in cui versano i componenti edili residui prima di essere reintrodotti in un nuovo edificio è una prerogativa per raggiungere buoni livelli di Indoor Air Quality. Tra i principali agenti inquinanti che possono intaccare i materiali si ricordano gli agenti biologici, ovvero muffe, batteri, virus, acari, polveri, insetti e allergeni di varia natura, gli agenti fisici, quale ad esempio il gas radon contenuto all'interno di materiali da costruzione, in materiali che incorporano residui dalle industrie che lavorano materiali radioattivi naturali o additivi di origine naturale ignea quali pozzolane, tufo, granito id, porfidi, e infine gli agenti chimici: quest'ultimi sono di particolare pericolosità in quanto sovente si ritrovano allo stato gassoso (Composti organici volati COV come il benzene e la formaldeide, i composti organici del cloro e i gas di combustione), fibroso (amianto e fibre minerali) e particellare. Tutti questi agenti inqui-

nanti possono provocare problematiche sia alle persone, sia al materiale stesso, sia all'ambiente ed è quindi necessario, prima di reimpiegare materiali già compromessi, accertarsi delle condizioni in cui versano a loro fine vita utile.

E' proprio a partire dai primi anni '70 che in America si inizia a parlare di Sick Building Syndrome (SBS) o sindrome da edificio malato: essa è definibile come una combinazione di disturbi associata al luogo di lavoro o di residenza. In quegli anni infatti, una forte politica mirata al risparmio energetico comportava la costruzione di edifici fortemente sigillati e gestiti in maniera centralizzata da sistemi meccanizzati chiusi con poche interazioni con l'aria fresca proveniente dall'esterno. Tutto ciò, associato ad una scarsa conoscenza tecnica e chimica dei materiali utilizzati nelle costruzioni, comportava come risultato la creazione di ambienti indoor non confortevoli per la permanenza umana a lungo termine. Nel 1983 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), definì la SBS come un insieme di sintomatologie legate ai molteplici aspetti che un microclima interno non salubre può provocare nelle persone ad esso esposte: irritazioni agli occhi, al naso, alle vie respiratorie e, occasionalmente, alla pelle nonché sintomi generali come mal di testa, stanchezza, malessere, vertigini e difficoltà di concentrazione. La sintomatologia della SBS è assimilabile agli effetti di un'intossicazione acuta; per questo motivo, una volta lasciato l'edificio, i

Tabella 1 Le principali fonti di emissione di COV	
Materiali da costruzione	Pitture e prodotti associati, pitture a olio, uretaniche, acriliche, vernici a spirito per gommalacca, mordente e coloranti per legno, diluenti, detergenti per pennelli, sverniciatori. Colle e adesivi. Pavimenti vinilici. Materiali in legno multistrato (MDF). Tessuti e tappezzerie.
Prodotti per la pulizia della casa e l'igiene personale	Profumatori per ambiente. Detergenti per stoviglie. Deodoranti solidi e spray. Prodotti per la pulizia dei bagni, dei vetri, dei forni (spray). Prodotti per la pulizia come cere per pavimenti e mobili (liquide e in aerosol), paste abrasive. Pesticidi, insetticidi e disinfettanti. Antitarme. Cosmetici. Prodotti per l'auto. Prodotti per il bricolage.
Abitudini	Fumo di sigaretta. Apparecchi per il riscaldamento/condizionamento. Cucine, camini.
Sorgenti outdoor	Emissioni industriali. Emissioni da automobili.

Tabella 12.2: Fonti di emissioni COV; Fonte: INAIL, 2018;

disturbi tendono a diminuire. Le cause della SBS sono provocate da vari fattori tra cui figurano ventilazioni insufficienti (quindi eccesso di umidità), emissioni di sostanze odorose, irritanti e/o tossiche da parte di materiali costruttivi, apparecchi e/o arredi, mancata risoluzione dei ponti termici con conseguente formazione puntuale di muffe o colonie fungine sulle superfici interne. Tutto ciò ci fa comprendere come sia particolarmente importante conoscere la natura, la qualità, la composizione e il livello di sostanze inquinanti presenti nei diversi materiali recuperati prima di un loro nuovo utilizzo per cercare di limitare al massimo la diffusione di questi materiali all'interno delle nuove costruzioni, i quali riducono di molto il comfort qualitativo dell'aria interna. A oggi esistono diverse normative che regolano la presenza di agenti inquinanti nei materiali tra cui la Direttiva 2004/42/UE per quanto riguarda la limitazione dei composti organici volatili dovuti all'uso di solventi e pitture o la decisione CE 544/2009, la quale stabilisce i criteri per l'assegnazione di un marchio comunitario di qualità ecologica ai prodotti vernicianti per interni: con riferimento alle sottocategorie applicabili in ambiente indoor, viene sostanzialmente dimezzato il quantitativo massimo di TVOC determinato dalla Direttiva CE 42/2004; la raccomandazione Euratom 143/90 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi, la quale stabilisce un livello di riferimento per la concentrazione del gas che

determina l'adozione di provvedimenti correttivi: per gli edifici esistenti tale livello è pari a 400 Bq/m³, per le nuove costruzioni è di 200 Bq/m³; e infine il D.M. 10/10/2008 relativo ai pannelli a base di legno e ai manufatti con essi realizzati, sia semilavorati che prodotti finiti, i quali non possono essere immessi in commercio se la concentrazione di equilibrio di formaldeide che essi provocano nell'aria dell'ambiente di prova supera il valore di 0,1 ppm (0,124 mg/m³).

Questo breve quadro normativo ci fa comprendere come la scelta dei materiali che compongono l'edificio debba rispettare una serie di indicazioni stabilite dalle leggi così da ridurre il più possibile la produzione di ambienti interni inquinati e poco confortevoli e per queste ragioni i materiali di recupero devono essere sottoposti ad attenti controlli e verifiche prima di ritornare a svolgere una funzione all'interno di un nuovo edificio.

12.2.6 Ostacoli allo sviluppo

Nonostante le evidenti opportunità e i vantaggi che derivano dall'applicazione del riciclo e del riuso di materiali e componenti edilizi nel settore dell'economia circolare applicata alle costruzioni, non mancano allo stesso tempo criticità e problematiche che ostacolano lo svilupparsi di queste pratiche.

Prima di tutto è evidente come la società e la cultura odierna sono ancora poco propense a considerare il materiale di recupero come una risorsa e non più come un rifiuto: dal momento che i rifiuti sono associati a qualcosa di cui ci si vuole o deve disfarsi, sono generalmente percepiti in modo negativo come fonte di problemi, costi e inquinamento. Si propende dunque sempre più a preferire materiali nuovi, con migliori prestazioni a livello tecnologico/estetico e più innovativi, rispetto a materiali di riutilizzo o di riciclo, le cui capacità prestazionali sono ovviamente inferiori rispetto al nuovo. Una seconda questione è invece legata al fatto che le costruzioni sono spesso ancora realizzate tramite lavorazioni a umido, che rendono solidali i materiali tra loro impedendone a fine vita la separazione. In particolare i processi di impermeabilizzazione ed incollaggio si presentano a fine vita irreversibili, in quanto i materiali bituminosi e le colle non sono più separabili dai materiali con cui vengono in contatto e di conseguenza non più riutilizzabili o conferibili a centri di riciclaggio. Nel momento in cui viene meno la possibilità di separazione dei materiali impiegati nella realizzazione di un edificio, l'unica soluzione possibile a fine vita è quella della demolizione collettiva. La demolizione selettiva, infatti, nel nostro Paese risulta essere una pratica ancor poco diffusa e poco conveniente per aziende a causa dei costi elevati (circa 10-20% in più rispetto alla demolizione di tipo tradizionale), dell'inesistenza di

una rete capillare di impianti di valorizzazione, della mancanza di un'adeguata conoscenza tecnica e infine molto spesso della difficoltà di applicazione: separare giunzioni con adesivi non asportabili così come pannelli in laminato con isolamento in lana di vetro possono rendere praticamente impossibile il lavoro di separazione e smontaggio.

Inoltre un ulteriore fattore che motiva l'attuale mancanza di una prassi di selezione nella demolizione è la carenza di una rete organizzata di impianti di trattamento e smaltimento a cui conferire il materiale demolito. Una terza criticità, come ben chiarito in precedenza, è riguardante la durabilità dei materiali di recupero e la possibile presenza di agenti inquinanti che intaccano sia i loro livelli di prestazione tecnologica/estetica sia la salubrità degli ambienti esterni: molto spesso utilizzare un nuovo materiale, privo di qualsiasi tipologia di sostanza inquinante nel rispetto anche delle normative vigenti e con livelli di prestazioni elevati, è spesso più vantaggioso rispetto all'intero ciclo di vita piuttosto che utilizzare un materiale residuale.

12.2.7 I mercati di scambio dei materiali residuali

Per concludere questa analisi relativa alle criticità e ai vantaggi derivanti dall'applicazione dell'economia circolare in edilizia, è doveroso approfondire anche un'altra problematica af-

fatto trascurabile che riguarda la difficoltà di reperimento dei materiali residuali. Purtroppo è emerso, soprattutto nel nostro Paese ma anche in altri contesti europei, come non esista un vero e proprio mercato in cui poter scambiare, mettere a disposizione o acquistare materiale residuale: quando si utilizza materiale di recupero solitamente proviene o dalla demolizione dell'edificio esistente o da materiale limitrofo al cantiere e ciò riduce la possibilità di implementare lo scambio della materia di recupero tra diversi operatori del settore. A questo proposito è interessante citare ad esempio l'esperienza olandese dove per la prima volta si è cercato di creare un mercato attivo su cui mettere a disposizione del materiale di recupero direttamente tramite un portale online Oogstkaart: questo sito rappresenta un vero e proprio mercato per upcyclers professionisti, nel quale possono ottenere informazioni sui materiali messi a disposizione da altri utenti per il riuso e conseguentemente acquistarli. Nonostante tale sito comprenda tutto il territorio europeo è molto evidente dalle mappe messe a disposizione come solo in Olanda sia veramente efficiente ed utilizzato, negli altri paesi invece le opportunità di mettere a disposizione materiali di recupero rimangono dei casi isolati. Un altro esempio è Salvo, una società inglese che svolge attività di coordinamento e degli operatori specializzati del settore del recupero di componenti e materiali edili per l'architettura in molti paesi del mondo. A fine anni '90

del Novecento è stato lanciato il sito internet SalvoWEB con lo scopo di rendere più semplice e rapido, da parte dei committenti, il reperimento di fornitori di materiali di recupero.

Infine, l'ultima questione riguarda gli aspetti legati alla carenza di informazioni provenienti dal mercato dei prodotti recuperati: mancano dati relativi alla disponibilità di questi materiali (provenienza, proprietà fisiche e meccaniche, durabilità) e di conseguenza risulta difficoltosa la sua applicazione. Per citare anche in questo caso un esempio concreto è opportuno ricordare la Svizzera in cui è stata ideata una "borsa dei rifiuti edili", ossia un elenco che fornisce informazioni relative ai prodotti e che coordina le possibilità di recupero dei materiali tra i cantieri. Mettere quindi a disposizione di progettisti, costruttori e committenti un indirizzario di luoghi del recupero e strumenti di supporto qualitativo, facilmente applicabili nella pratica professionale diffusa, può facilitare notevolmente gli operatori del settore.

HARVEST MAP

Marketplace for professional upcyclers

Figura 12.4: Portale online Oogstkaat;
Fonte: <https://www.oogstkaat.nl/>;

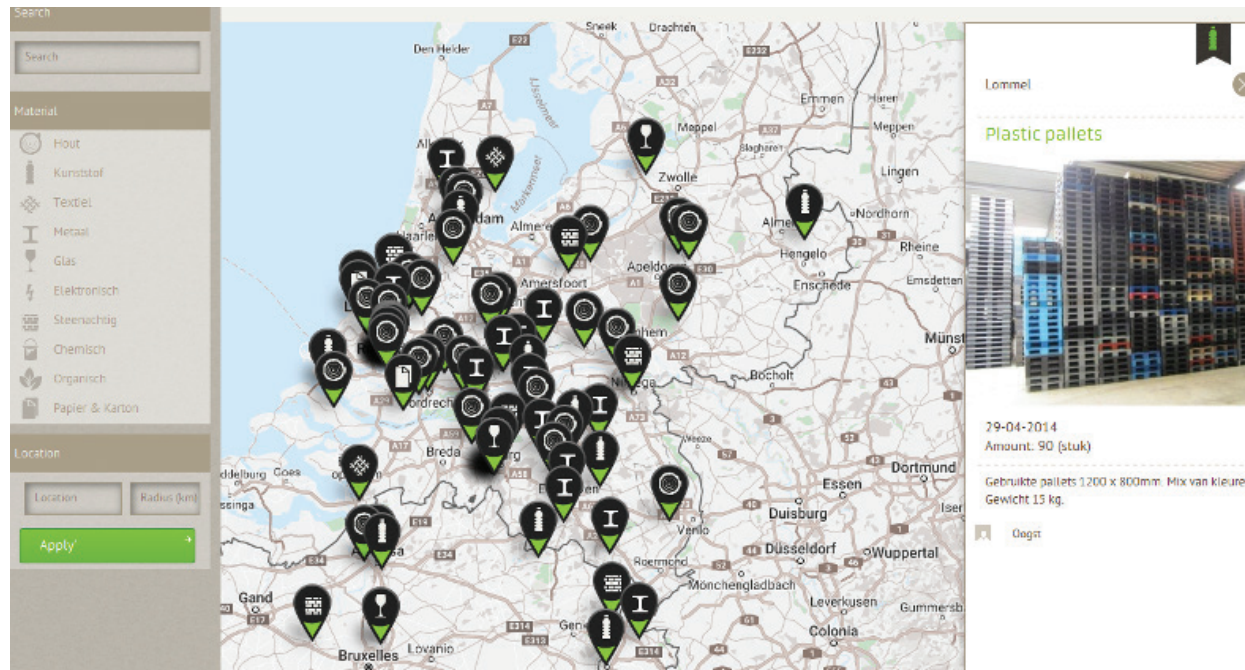


Figura 12.5: Portale online Oogstkaat; Fonte: <https://www.oogstkaat.nl/>;

13 VALUTAZIONI LCA RELATIVE AI CASI STUDIO

produzione e infine di produzione (approccio Cradle to Gate, figura 13.1).

13.1 Confronto tra edifici con materiali di riciclo/riuso ed edifici con nuovi materiali

All'interno di questo capitolo si cercheranno di evidenziare in termini quantitativi i reali impatti prodotti dalle differenti strategie d'applicazione dell'economia circolare, sia per quanto riguarda gli scenari d'intervento sia per i principi progettuali individuati nelle precedenti parti dell'elaborato. Più in dettaglio, ciò sarà possibile grazie all'utilizzo della metodologia LCA, applicata sia alla scala dell'edificio sia alla scala della singola soluzione costruttiva, utilizzando come riferimento di base i casi studi analizzati precedentemente. Questi saranno poi confrontati tra di loro e con costruzioni realizzate senza un approccio circolare, con lo scopo di evidenziare i vantaggi o meno dell'utilizzo di strategie circolari rispetto a soluzioni di tipo tradizionale. All'interno delle analisi LCA che verranno condotte si farà riferimento agli indicatori ambientali dell'energia incorporata (EE) e della CO₂ equivalente (EC) e i dati relativi a tali indicatori saranno reperiti dai database "ICE, INVENTORY OF CARBON & ENERGY", versione 2008 e versione 2011. I valori EE e EC dei singoli materiali fanno riferimento agli impatti totali derivanti dalle fasi di estrazione delle materie prime, di trasporto allo stabilimento di

Per valutare gli effettivi vantaggi o meno derivanti dall'utilizzo di materiale di riciclo o di riuso utilizzato all'interno del caso studio è stato necessario svolgere una valutazione LCA completa dell'intero edificio e confrontarla con la stessa valutazione, ipotizzata per un edificio identico a quello del caso studio analizzato, considerando esclusivamente materiali provenienti da materie prime al posto dei materiali di riuso o riciclo realmente impiegati. I valori degli impatti ambientali sono stati ottenuti calcolando, in primo luogo, la quantità totale di materiale in kg presente nell'edificio, suddivisa nei vari elementi tecnici individuati (figura 13.2), e successivamente, tali quantità sono state moltiplicate per i valori di energia incorporata, espressa in MJ/kg, disponibili dai database, per ottenere il valore complessivo. Per i materiali di riuso il valore di energia incorporata e di emissioni di CO₂ è stato considerato pari a 0. Per il calcolo dell'edificio nuovo, invece, è stata svolta la medesima valutazione LCA considerando i valori di *embodied energy* e *embodied carbon* di tutti i materiali come se fossero prodotti da materie prime. La differenza tra le due valutazioni ha, quindi, definito il valore

degli impatti ambientali evitati. Al termine delle valutazioni sono state poste una serie di considerazioni sulla base dei risultati ottenuti e dei grafici finali prodotti, avanzando anche delle ipotesi tecnologiche alternative a quelle realmente adottate nel caso studio in analisi.

I calcoli delle quantità dei materiali sono state svolte utilizzando la documentazione grafica reperita dalle varie fonti dei casi studio. Nei casi in cui non è stato possibile reperire documentazione utile per lo svolgimento dei calcoli, sono state eseguite delle assunzioni e ipotesi reali a partire dalle informazioni disponibili relative ai singoli casi studio presi in considerazione.

Per il confronto con sistemi costruttivi tradizionali invece si è deciso di adoperare soluzioni costruttive tipicamente utilizzate nel settore edilizio italiano (ad esempio solaio in laterocemento, struttura portante in calcestruzzo armato gettato in opera, ecc.).

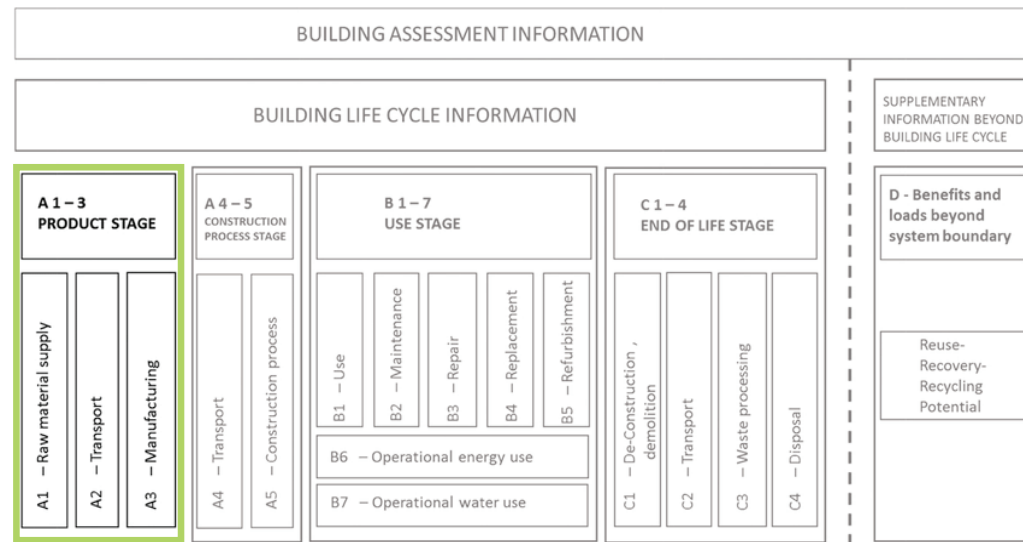


Tabella 13.1: Individuazione del confine di sistema analizzato nelle valutazioni LCA (Cradle to Gate); Fonte: Norma UNI 15084;

1. Struttura portante	1.1 Struttura di fondazione	1.1.1 Strutture di fondazione dirette 1.1.2 Strutture di fondazione indirette
	1.2 Struttura di elevazione	1.2.1 Strutture di elevazione verticali 1.2.2 Strutture di elevazione orizzontali e inclinate 1.2.3 Strutture di elevazione spaziali
	1.3 Struttura di contenimento	1.3.1 Strutture di contenimento verticali 1.3.2 Strutture di contenimento orizzontali
2. Chiusura	2.1 Chiusura verticale	2.1.1 Pareti perimetrali verticali 2.1.2 Infissi esterni verticali
	2.2 Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1 Solai a terra 2.2.2 Infissi orizzontali
	2.3 Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1 Solai su spazi aperti
	2.4 Chiusura superiore	2.4.1 Coperture 2.4.2 Infissi esterni orizzontali
3. Partizione interna	3.1 Partizione interna verticale	3.1.1 Pareti interne verticali 3.1.2 Infissi interni verticali 3.1.3 Elementi di protezione
	3.2 Partizione interna orizzontale	3.2.1 Solai 3.2.2 Soppalchi 3.2.3 Infissi interni orizzontali
	3.3 Partizione interna inclinata	3.3.1 Scale interne 3.3.2 Rampe interne
4. Partizione esterna	4.1 Partizione esterna verticale	4.1.1 Elementi di protezione 4.1.2 Elementi di separazione
	4.2 Partizione esterna orizzontale	4.2.1 Balconi e logge 4.2.2 Passerelle
	4.3 Partizione esterna inclinata	4.3.1 Scale esterne 4.3.2 Rampe esterne

Tabella 13.2: Classificazione del sistema tecnologico adottato nelle valutazioni LCA; Fonte: Norma UNI 8290/1;

13.1.1 Il caso studio Villa Welpeloo

OBIETTIVO

Calcolo della riduzione dell'energia incorporata e delle emissioni di CO₂ dovuta all'uso di materiali ed elementi di riuso o riciclo rispetto allo stesso edificio realizzato con materiali nuovi.



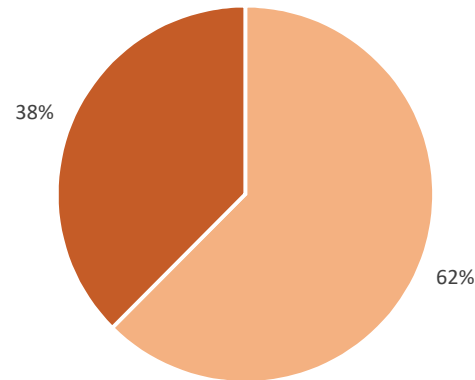
Figura 13.1: Villa Welpeloo; Fonte: <https://www.archilovers.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO



Nuova costruzione con riuso di materiali provenienti da altri settori e da altri cantieri (stessa funzione) e materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycle)

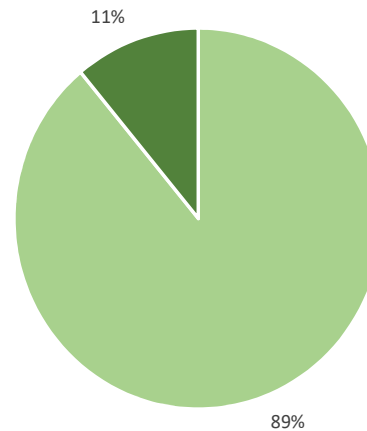
VOLUME (m³)



- Materiale prodotto da materie prime (209,56 m³)
- Materiale di riuso e di riciclo (125,93 m³)

Grafico 13.1: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al volume; Fonte: elaborazione personale;

PESO (kg)



- Materiale prodotto da materie prime (411261,32 kg)
- Materiale di riuso e di riciclo (51023,42 kg)

Grafico 13.2: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al peso; Fonte: elaborazione personale;

ELEMENTI DI RIUSO NEL CASO STUDIO

DESCRIZIONE	QUANTITA' (kg)
Travi e pilastri in acciaio	12075,00
Travi secondarie in legno	9637,50
Isolante delle pareti e solai in EPS	2369,70
Rivestimento esterno in legno	16117,50
Tavolato della copertura in legno	2936,25
Montanti delle pareti esterne in legno	2803,47
Pavimento interno in legno	1305,00
Vetro degli infissi	3311,50

ELEMENTI DI RICICLO NEL CASO STUDIO

DESCRIZIONE	QUANTITA' (kg)
Rivestimento interno del bagno in plastica riciclata	317,50

Tabella 13.3: Individuazione degli elementi di riuso e riciclo nel caso studio e rispettive quantità; Fonte: elaborazione personale;

Classi di unità tecnologica	Unità tecnologica	Elementi tecnici	EE caso studio (MJ)	EE edificio nuovo (MJ)	Quantità evitata (MJ)	Quantità evitata in %
Strutture portanti	Struttura di fondazione	Struttura di fondazione diretta	345796,20	345796,20	0,00	0%
	Struttura di elevazione	Struttura di elevazione verticale	0,00	92818,80	92818,80	100%
		Struttura di elevazione orizzontale	405306,00	842208,82	436902,82	52%
Chiusure	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali	101777,72	324965,53	223187,81	69%
		Infissi esterni verticali	207334,26	259448,48	52114,22	20%
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra	34760,25	76623,75	41863,50	55%
	Chiusura superiore	Coperture	84940,25	240794,29	155854,04	65%
		Infissi orizzontali	5044,50	6127,26	1082,76	18%
Partizioni interne	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali	52775,63	80593,09	27817,46	35%
	Partizione interna orizzontale	Solai	48681,72	68513,22	19831,50	29%
Totale			1286416,53	2337889,43	1051472,90	45%

Tabella 13.4: Calcolo dell'energia incorporata del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;

Classi di unità tecnologica	Unità tecnologica	Elementi tecnici	EC caso studio (kgCO ₂ eq)	EC edificio nuovo (kgCO ₂ eq)	Quantità evitata (kgCO ₂ eq)	Quantità evitata in %
Strutture portanti	Struttura di fondazione	Struttura di fondazione diretta	35878,62	35878,62	0,00	0%
	Struttura di elevazione	Struttura di elevazione verticale	0,00	7577,58	7577,58	100%
		Struttura di elevazione orizzontale	41426,22	76165,31	34739,09	46%
Chiusure	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali	4435,75	18659,17	14223,42	76%
		Infissi esterni verticali	16926,44	20085,42	3158,98	16%
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra	2905,88	4460,40	1554,53	35%
	Chiusura superiore	Coperture	2679,28	9881,70	7202,42	73%
		Infissi orizzontali	410,09	477,07	66,98	14%
Partizioni interne	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali	2995,52	2995,52	0,00	0%
	Partizione interna orizzontale	Solai	3196,10	4623,97	1427,87	31%
Totale			110853,89	180804,74	69950,85	39%

Tabella 13.5: Calcolo delle emissioni di CO₂ del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EC del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;

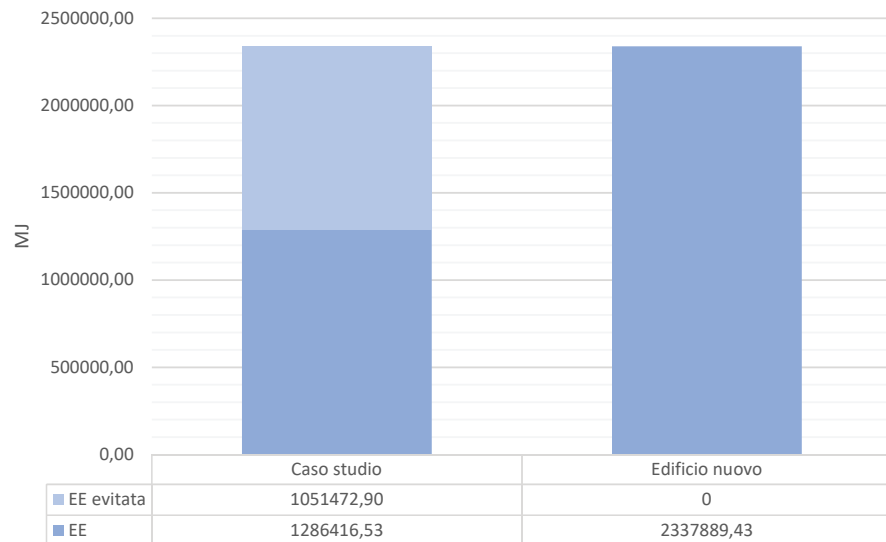


Grafico 13.3: Confronto tra energia incorporata del caso studio ed edificio nuovo;
Fonte: elaborazione personale;

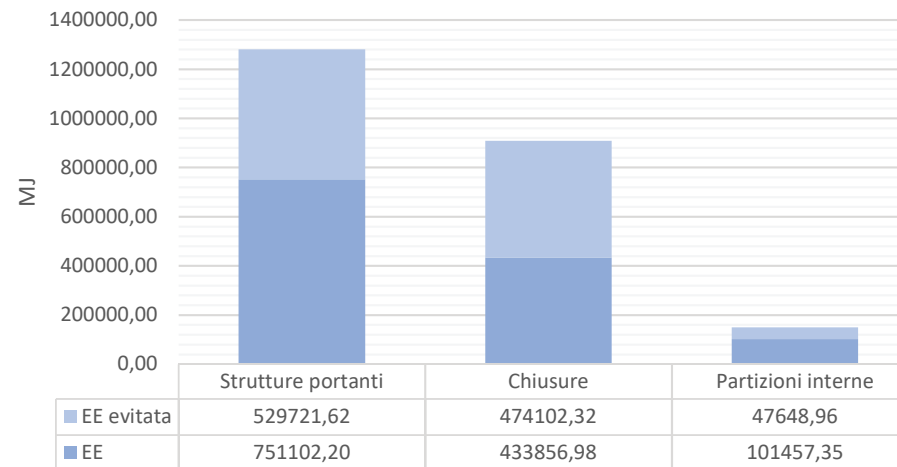


Grafico 13.4: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per classi di unità tecnologiche;
Fonte: elaborazione personale;

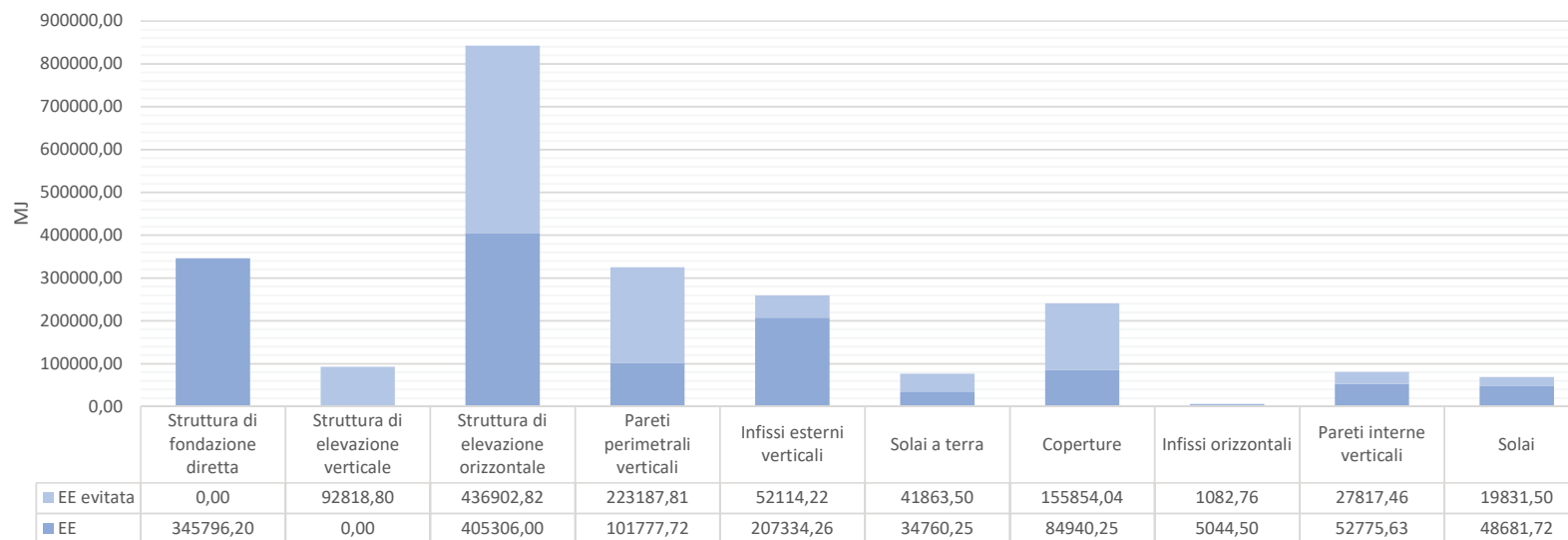


Grafico 13.5: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;



Grafico 13.6: Confronto tra emissioni di CO₂ del caso studio ed edificio nuovo;
Fonte: elaborazione personale;

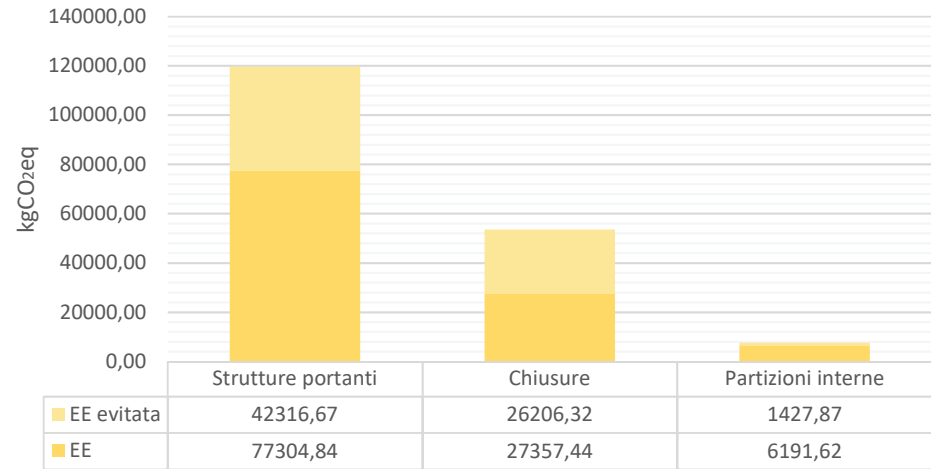


Grafico 13.7: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per classi di unità tecnologiche;
Fonte: elaborazione personale;

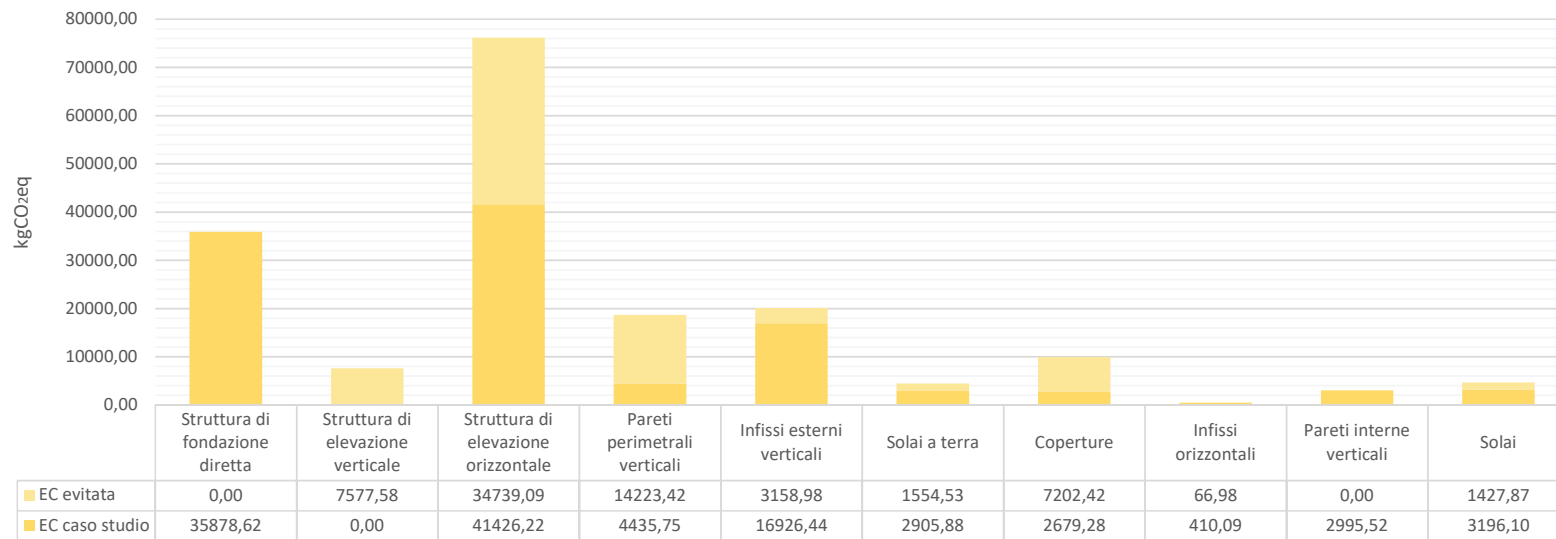


Grafico 13.8: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;

Considerazioni

Per quanto riguarda l'energia incorporata, la riduzione dovuta all'impiego di materiale di recupero è stata del 45% rispetto allo stesso edificio realizzato completamente con materiali prodotti da materie prime. Come si evince dal grafico 13.4 il risparmio maggiore di impatti ambientali, rispetto all'utilizzo di materiali nuovi, si è ottenuto dalle strutture portanti composte da pilastri e travi in acciaio e travi secondarie in legno di recupero. Nonostante l'uso di materiali di riuso, l'unità tecnologica di maggior impatto risultano comunque essere le strutture portanti.

Analizzando gli impatti evitati suddivisi per elementi tecnici (grafico 13.5), si può osservare come, infatti, la struttura di elevazione orizzontale risulti essere l'elemento tecnico con maggiore impatto rispetto a tutti gli altri elementi. Questo è dovuto principalmente alla soletta in cemento armato contro terra. Osservando, infine, gli altri elementi tecnici, oltre alle strutture portanti, si deduce che le pareti perimetrali verticali, realizzate quasi completamente con materiali di recupero, hanno portato a una riduzione degli impatti generati del 69%, seguite dalle coperture con il 65%.

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, la riduzione degli impatti ambientali dovuta all'impiego di materiale di recupero è stata del 39% rispetto allo stesso edificio realizzato completa-

mente con materiali prodotti da materie prime. Anche in questo caso il valore maggiore degli impatti evitati è quello generato dalle strutture portanti, come si deduce dal grafico 13.7. Analizzando il grafico 13.8, si evince che, anche per questo indicatore, la struttura di elevazione orizzontale risulti essere l'elemento tecnico di maggiore impatto all'interno della costruzione. Nonostante il valore percentuale di impatti evitati legati all'*embodied carbon* confrontato con il valore percentuale dell'*embodied energy*, sia inferiore, si registra un valore percentuale di riduzione degli impatti dei singoli elementi tecnici maggiore, non considerando le strutture portanti, in particolar modo evidente per le pareti perimetrali verticali, le quali hanno permesso di ottenere una quantità di impatti evitata pari al 76%, seguite dalle coperture con il 73% e dal solaio a terra con il 68%.

13.1.2 Il caso studio Ty Pren

OBIETTIVO

Calcolo della riduzione dell'energia incorporata e delle emissioni di CO₂ dovuta all'uso di materiali ed elementi di riuso o riciclo rispetto allo stesso edificio realizzato con materiali nuovi.



Figura 13.2: Ty Pren; Fonte: <https://www.dezeen.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E1

M4.1

M4.2

Nuova costruzione con riuso di materiali edili provenienti da altri cantieri sia per stessa che diversa funzione rispetto all'origine.

VOLUME (m³)

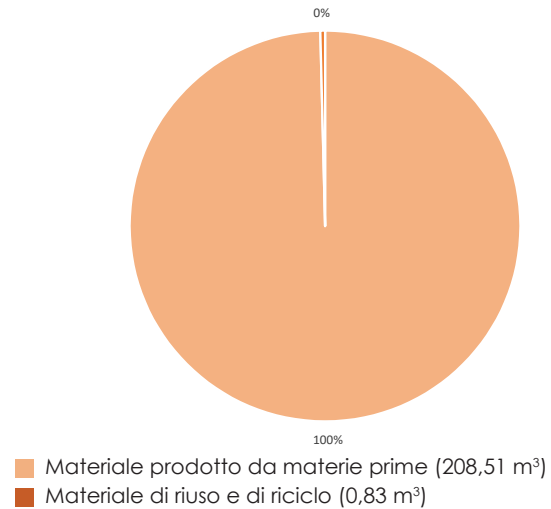


Grafico 13.9: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al volume; Fonte: elaborazione personale;

PESO (kg)

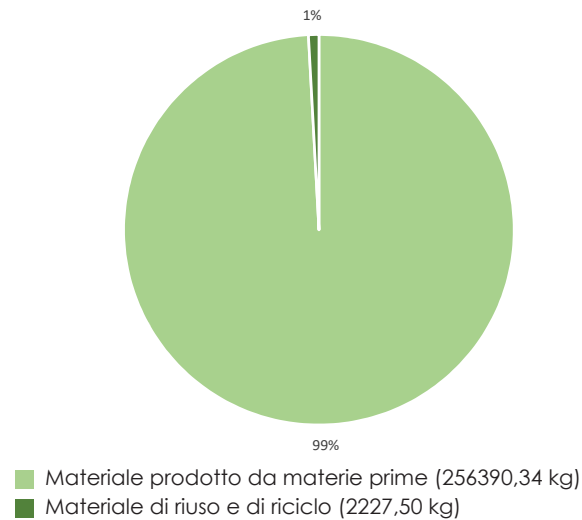


Grafico 13.10: Percentuale di materiale nuovo e di riuso e riciclo in relazione al peso; Fonte: elaborazione personale;

ELEMENTI DI RIUSO NEL CASO STUDIO	
DESCRIZIONE	QUANTITA' (kg)
Coperture e rivestimento facciata nord in lastre di ardesia	2227,50

Tabella 13.6: Individuazione degli elementi di riuso e riciclo nel caso studio e rispettive quantità; Fonte: elaborazione personale;

Classi di unità tecnologica	Unità tecnologica	Elementi tecnici	EE caso studio (MJ)	EE edificio nuovo (MJ)	Quantità evitata (MJ)	Quantità evitata in %
Strutture portanti	Struttura di fondazione	Struttura di fondazione diretta	178969,50	178969,50	0,00	0%
	Struttura di contenimento	Struttura di contenimento verticale	11574,00	11574,00	0,00	0%
	Struttura di elevazione	Struttura di elevazione verticale	142014,65	142014,65	0,00	0%
		Struttura di elevazione orizzontale e inclinata	210147,92	210147,92	0,00	0%
Chiusure	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali	60333,54	60897,84	564,30	1%
		Infissi esterni verticali	96810,80	96810,80	0,00	0%
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra	78178,64	78178,64	0,00	0%
	Chiusura superiore	Coperture	24577,72	25238,54	660,83	3%
		Infissi inclinati	13896,60	13896,60	0,00	0%
Partizioni interne	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali	26578,50	26578,50	0,00	0%
	Partizione interna orizzontale	Solai	43098,00	43098,00	0,00	0%
Totale			886179,86	887404,99	1225,13	0,14%

Tabella 13.7: Calcolo dell'energia incorporata del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;

Classi di unità tecnologica	Unità tecnologica	Elementi tecnici	EC caso studio (kgCO ₂ eq)	EC edificio nuovo (kgCO ₂ eq)	Quantità evitata (kgCO ₂ eq)	Quantità evitata in %
Strutture portanti	Struttura di fondazione	Struttura di fondazione diretta	19586,48	19586,48	0,00	0%
	Struttura di contenimento	Struttura di contenimento diretta	1651,22	1651,22	0,00	0%
	Struttura di elevazione	Struttura di elevazione verticale	7943,17	7943,17	0,00	0%
		Struttura di elevazione orizzontale e inclinata	17545,07	17545,07	0,00	0%
Chiusure	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali	3559,50	3595,41	35,91	1%
		Infissi esterni verticali	5377,26	5377,26	0,00	0%
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra	5597,16	5597,16	0,00	0%
	Chiusura superiore	Coperture	992,45	1034,50	42,05	4%
		Infissi inclinati	820,06	820,06	0,00	0%
Partizioni interne	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali	1771,38	1771,38	0,00	0%
	Partizione interna orizzontale	Solai	2577,56	2577,56	0,00	0%
Totale			67421,31	67499,27	77,96	0,12%

Tabella 13.8: Calcolo delle emissioni di CO₂ del caso studio e dello stesso edificio considerando materiali prodotti da materie prime. Si è, quindi, calcolata la quantità evitata sottraendo l'EE del caso studio a quella dell'edificio nuovo esprimendola anche in percentuale; Fonte: elaborazione personale;

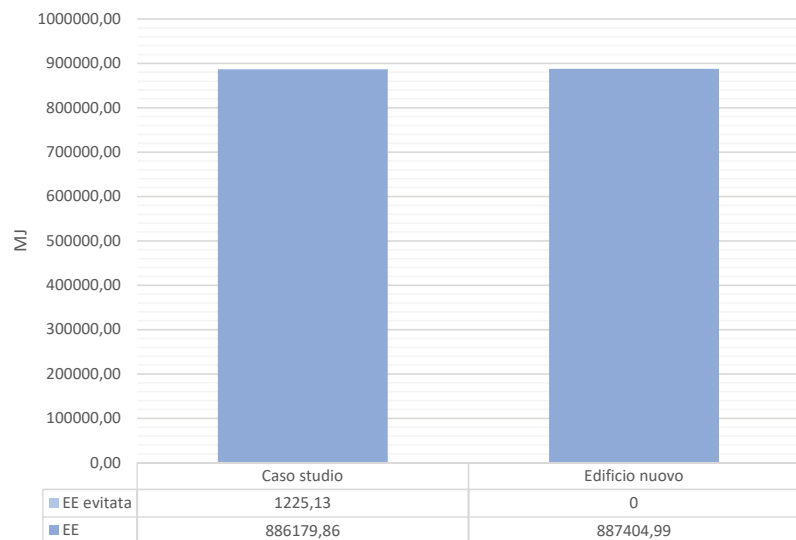


Grafico 13.11: Confronto tra energia incorporata del caso studio ed edificio nuovo;
Fonte: elaborazione personale;

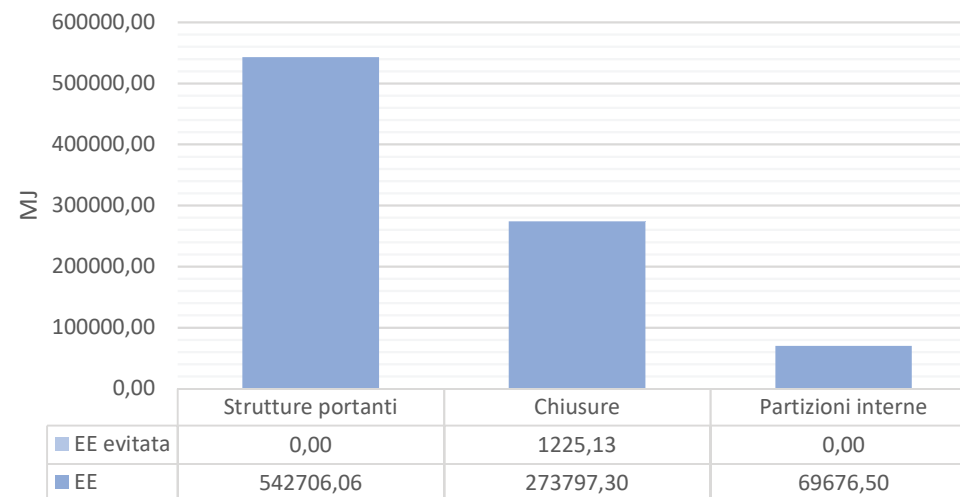


Grafico 13.12: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per classi di unità tecnologiche;
Fonte: elaborazione personale;

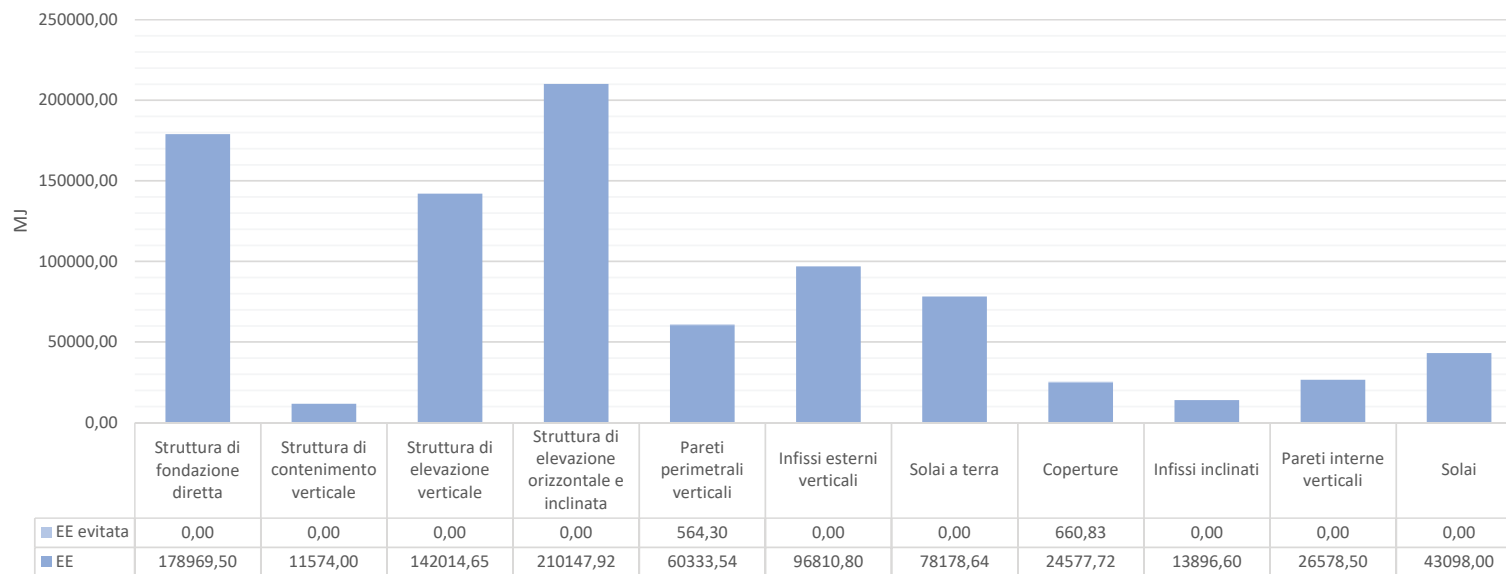


Grafico 13.13: Individuazione dell'energia incorporata evitata divisa per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;

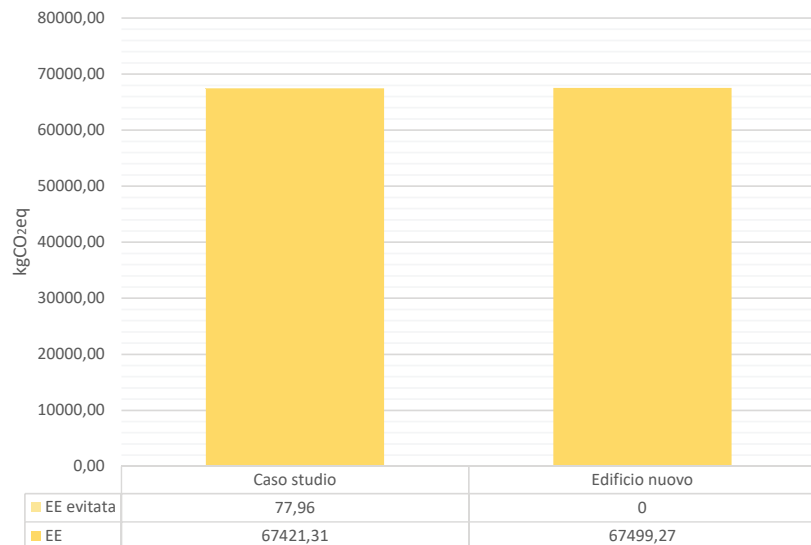


Grafico 13.14: Confronto tra emissioni di CO₂ del caso studio ed edificio nuovo;
Fonte: elaborazione personale;

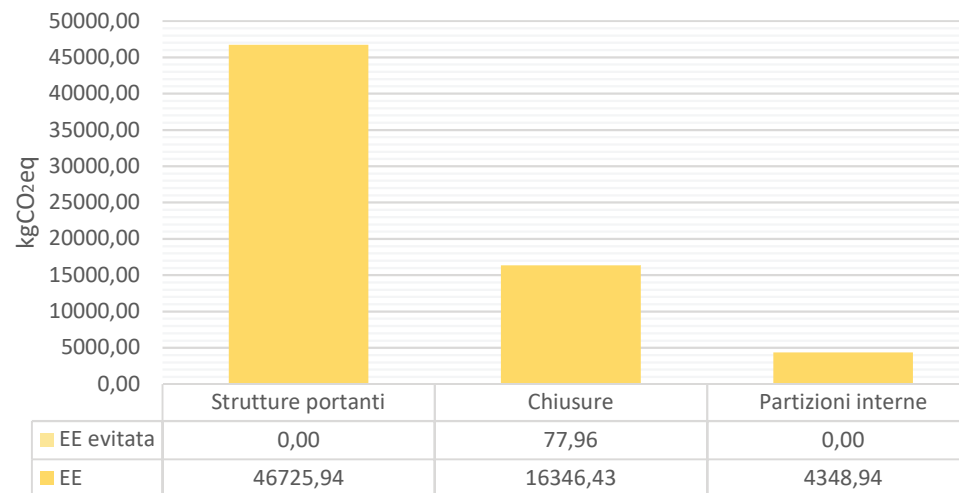


Grafico 13.15: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per classi di unità tecnologiche;
Fonte: elaborazione personale;

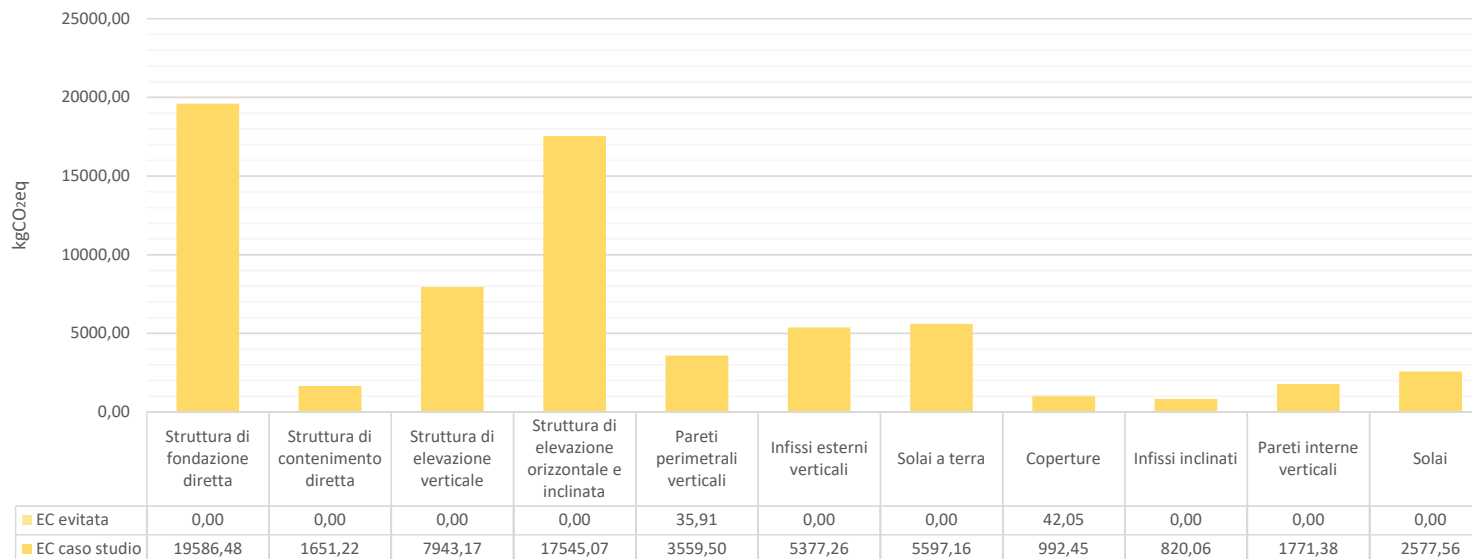


Grafico 13.16: Individuazione delle emissioni di CO₂ evitate divise per elementi tecnici; Fonte: elaborazione personale;

Considerazioni

Per quanto riguarda l'energia incorporata, la riduzione dovuta all'impiego di materiale di recupero è stata solamente dello 0,14% rispetto allo stesso edificio realizzato completamente con materiali prodotti da materie prime. L'uso di materiale di recupero per la facciata nord e per la copertura in lastre di ardesia, infatti, ha portato ad una convenienza quasi del tutto nulla rispetto all'uso dello stesso materiale prodotto da nuovo. Ciò è dovuto principalmente al fatto che la quantità di materiale di recupero impiegato all'interno del progetto rappresenta una minima parte rispetto al totale dei materiali utilizzati; inoltre la tipologia di materiale utilizzato, la pietra in questo caso, è caratterizzata da valori di unità di kg di *embodied energy* relativamente bassi (0,55 MJ/kg) (Hammond et al., 2011). Come si può vedere dal grafico 13.15 le strutture portanti rappresentano le classi di unità tecnologiche maggiormente impattanti in tutto il progetto, seguite dalle chiusure e dalle partizioni interne. Osservando il grafico 13.16 si evince in particolare modo che le strutture di fondazione e di elevazione orizzontale risultano essere gli elementi maggiormente impattanti.

Per quanto riguarda invece le emissioni di CO₂, la riduzione dovuta all'impiego di materiale di recupero è stata dello 0,12% rispetto allo stesso edificio realizzato completamente con materiali

prodotti da materie prime. La riduzione di emissioni di CO₂ derivante dall'uso di materiale di reimpiego, anche in questo caso, risulta essere praticamente nulla, e di conseguenza irrilevante rispetto agli impatti ambientali totali. Le strutture portanti risultano essere le classi di unità tecnologiche più impattanti. I fattori che hanno inciso maggiormente. Anche in questo caso, sono stati la quantità di materiale impiegato e la tipologia del materiale (per produrre 1 kg di ardesia da nuovo le emissioni di CO₂ sono solamente di 0,04 kgCO₂eq). In particolare osservando gli elementi tecnici si evince che le strutture di fondazione risultano essere l'elemento tecnico maggiormente impattante.

13.1.3 Considerazioni conclusive

Dal calcolo degli impatti ambientali relativi all'energia incorporata e alle emissioni di CO₂ prodotte in fase di produzione (*Cradle to Gate*) si può sostenere che l'impiego di materiali di recupero o di riciclo porta, a priori, un vantaggio sugli impatti evitati durante la fase di produzione di materiale. Tuttavia la convenienza o meno derivante dall'impiego di materiale di riuso o di riciclo rispetto all'utilizzo dello stesso materiale prodotto da nuovo, in termini di riduzione degli impatti ambientali totali dell'edificio, va valutata caso per caso in quanto essa dipende da molteplici fattori. Il primo fattore è sicuramente legato alla quantità di materiale di riuso impiegato all'interno del progetto. Come si è visto dalle analisi svolte sui casi studio analizzati, l'utilizzo di grandi quantità di materiale di riuso permette di ottenere una maggiore riduzione degli impatti ambientali totali dell'edificio in quanto i valori totali di energia incorporata e di emissioni di CO₂ si calcolano moltiplicando i valori di EE e EC relativi ad 1 kg per la quantità totale di materiale.

Un secondo fattore dipende dalla tipologia di materiale di riuso utilizzato nel progetto in quanto i valori unitari di energia incorporata e di emissioni di CO₂ variano molto in base al tipo di materiale: per produrre, ad esempio, 1 kg di alluminio da materie prime vergini si consumano 218 MJ, mentre per produrre 1 kg di pietra si

consumano 1,26 MJ. In conclusione si può sostenere che condurre una valutazione LCA su un edificio che impiega materiale di riuso o riciclo è utile a comprendere quali siano effettivamente i benefici ambientali che derivano dall'utilizzo di tali materiali, e al tempo stesso consente di analizzare ed individuare quali sono le parti d'opera che risultano essere maggiormente impattanti. Grazie alle valutazioni LCA è possibile dunque individuare soluzioni alternative per intervenire sugli elementi maggiormente impattanti in termini ambientali al fine di ridurre notevolmente gli impatti prodotti dall'edificio in fase di produzione dei materiali.

13.2 Riuso dell'edificio

13.2.1 Il caso studio The Silo

OBIETTIVO

Dimostrare l'efficacia di mantenere, o meno, la struttura portante di un edificio esistente, anziché demolirlo e ricostruirlo con strutture di tipo tradizionale.



Figura 13.3: The Silo; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E3

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali e ricostruzioni o ampliamenti

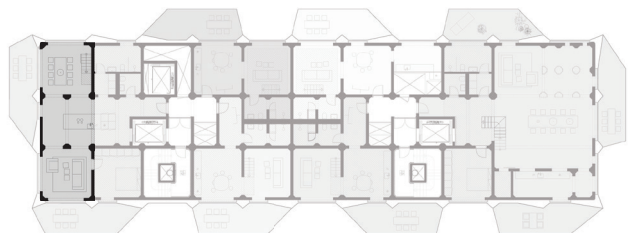


Figura 13.4: Pianta piano tipo con indicazione della campata strutturale analizzata; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO

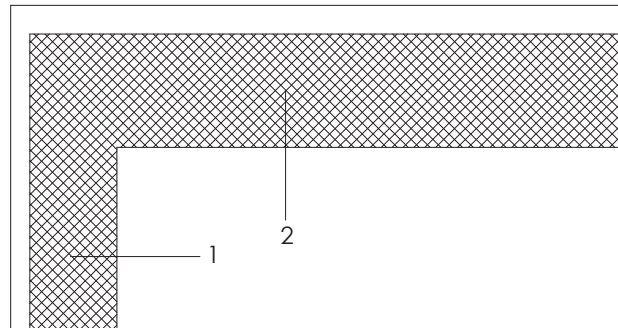


Figura 13.5: Nodo solaio-setti. (1) Setti portanti in cemento armato 23x385, (2) Solaio in cemento armato 30 cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;

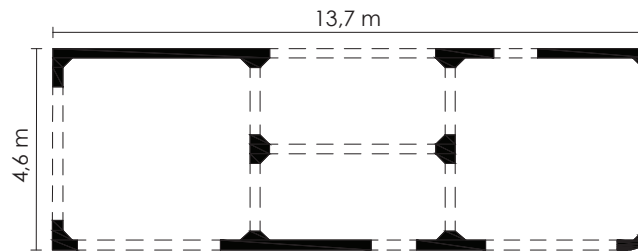


Figura 13.6: Pianta della campata; Fonte: elaborazione personale;

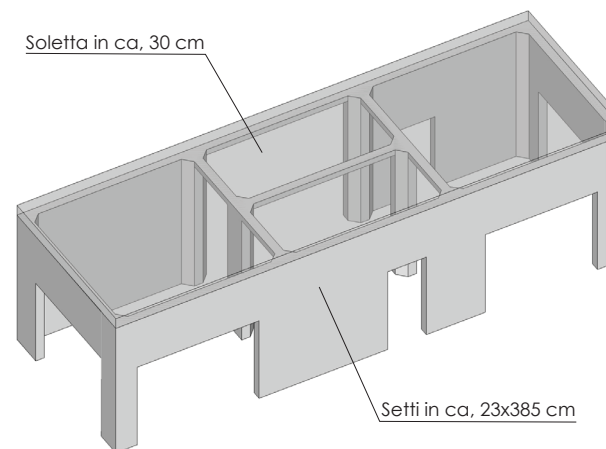


Figura 13.7: Assonometria della campata; Fonte: elaborazione personale;

IPOSTESI DI RICOSTRUZIONE

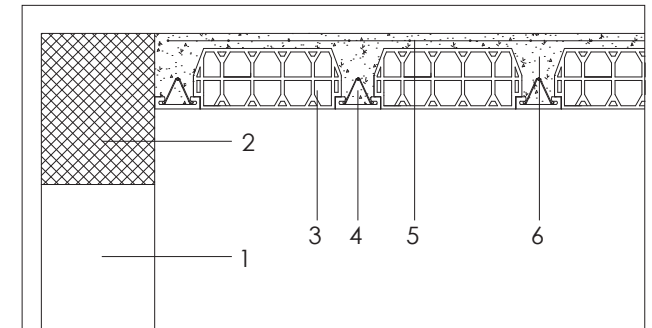


Figura 13.8: Nodo solaio-pilastro. (1) Pilastro in ca 30x30, (2) Trave in ca 40x30, (3) pignatta 16cm, (4) Traliccio Φ 8mm, (5) rete elettrosaldata Φ 5mm, (6) Riempimento in cls 4cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;

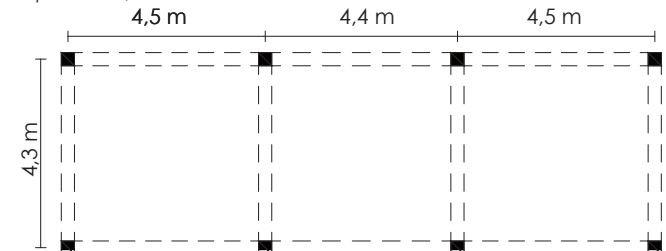


Figura 13.9: Pianta della campata strutturale; Fonte: elaborazione personale;

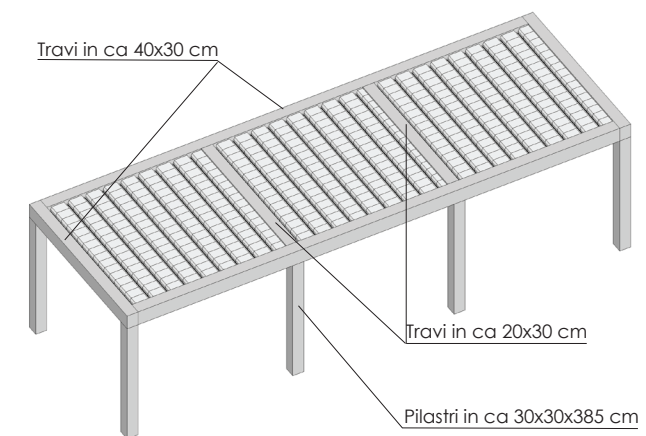


Figura 13.10: Assonometria della campata ricostruita in travi e pilastri in cemento armato e solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO

STRATO O ELEMENTO	VOLUME TOTALE (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ eq/kg)	VOCE DATABSE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ eq/mq)
1_Setti in ca	23,59	2400	56621,28	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	108712,86	11211,01344
2_Soldo in ca	18,876	2400	45302,4	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	86980,608	8969,88
Totale								195693,47	20180,89
Valore al mq								3110,19	320,74

Tabella 13.9: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della struttura della campata del caso studio; Fonte: elaborazione personale;

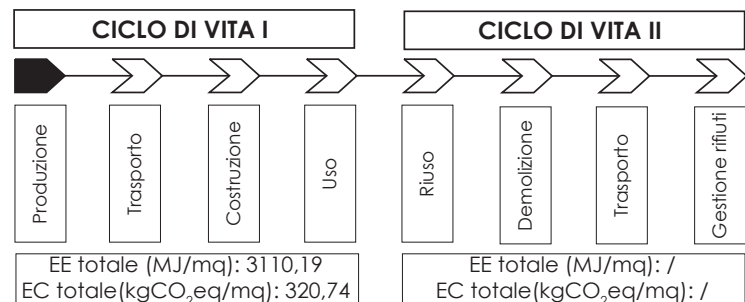
Soluzione meno vantaggiosa

EE-EC STRUTTURA PORTANTE RICOSTRUZIONE

STRATO O ELEMENTO	VOLUME TOTALE (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ eq/kg)	VOCE DATABSE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ eq/mq)
1_Pilastrini in ca	2,48	2400	5952	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	11427,84	1178,496
2_Travi in ca	4,72	2400	11328	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	21749,76	2242,94
3_Pignattoni in laterizio	2,04	520	1060,80	3	0,24	Clay_general	ICE 2011	3182,4	254,59
4_Traliccio Ø 8 mm	0,01	7500	81,00	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	2867,4	234,09
5_Rete elettrosaldata	0,01	7500	72,60	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	2570,04	209,81
6_Getto in cls	2,41	1800	4329,00	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	3246,75	463,20
Totale								45044,19	4583,14
Valore al mq								715,90	72,84

Tabella 13.10: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della struttura della campata dell'ipotesi di ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;

STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO



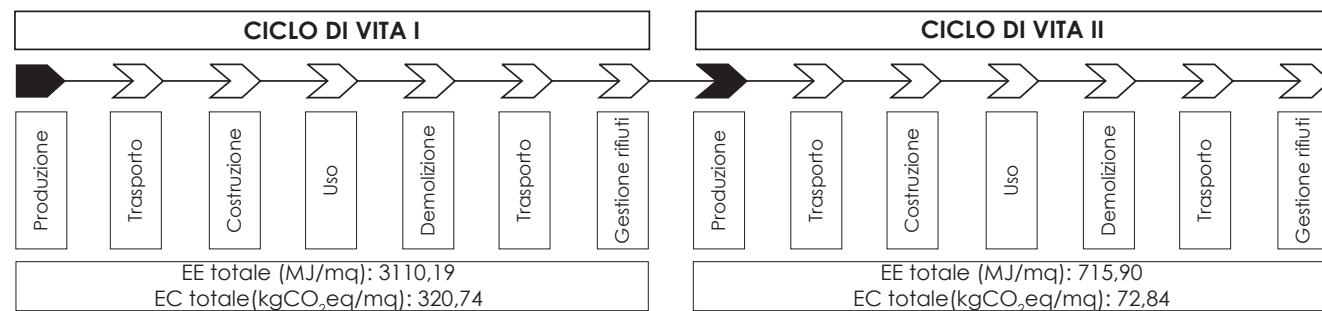
EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - 3110,19

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (kgCO₂eq/mq) - 320,74

STRUTTURA PORTANTE RICOSTRUZIONE



EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - 3826,09

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (kgCO₂eq/mq) - 393,58

EMBODIED ENERGY

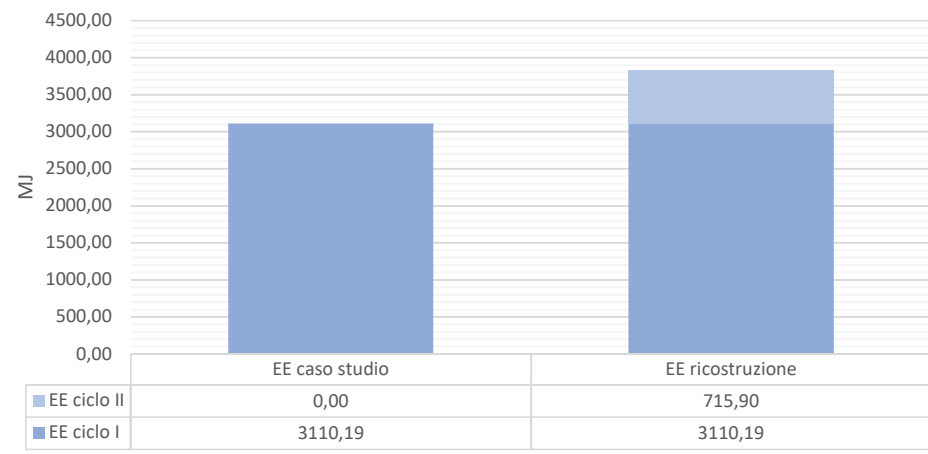


Grafico 13.17: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED CARBON

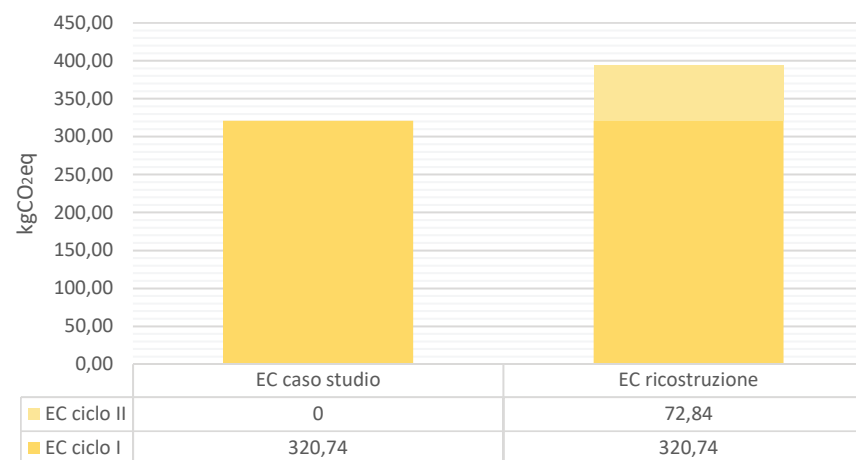


Grafico 13.18: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e ricostruzione; Fonte: elaborazione personale;

13.2.2 Considerazioni conclusive

Per lo svolgimento del calcolo si è considerato un primo approccio, ovvero quello adottato nel caso studio del mantenimento della struttura portante del silo realizzata interamente in cemento armato, e un secondo approccio, ovvero di demolizione totale dell'edificio e, successiva, ricostruzione della struttura portante della stessa campata realizzata però con tecniche tradizionali in cemento armato e solaio portante in laterocemento.

Dalla valutazione LCA svolta sulle due differenti soluzioni costruttive è emerso che la ricostruzione analoga con tecniche costruttive tradizionali risulta meno impattante rispetto alla struttura del caso studio, tuttavia se si considerano i cicli di vita dell'edificio il mantenimento e il riuso della struttura risulta più vantaggioso. Il mantenimento dell'esistente, infatti, ha permesso di evitare i processi di demolizione totale e di gestione dei rifiuti prodotti, e i processi legati alla produzione di materiale nuovo utilizzato per la ricostruzione, trasporti dallo stabilimento al cantiere e la costruzione della nuova struttura.

Questo ha permesso quindi di evitare il consumo di energia di 715,90 MJ/mq necessario per la ricostruzione dell'edificio e ha permesso di evitare l'emissione di 72,84 kg di CO₂eq/mq.

Tuttavia quando si riutilizza un edificio esistente è necessario svolgere un'analisi costi-benefici che tenga conto di tutti gli elementi oltre a quelli

ambientali: dal costo economico dell'intervento di conversione dell'edificio, al problema legato alla sicurezza e adattamento impiantistico, ai vincoli strutturali e planimetrici, ecc., al fine di valutare l'effettiva convenienza, o meno, di mantenere l'esistente piuttosto che demolirlo e ricostruirlo.

13.3 Design for Decostruction

13.3.1 Il caso studio del Padiglione Expo dell'Uruguay

OBIETTIVO

Dimostrare l'efficacia o meno dell'utilizzo di strutture portanti disassemblabili a fine vita rispetto a strutture portanti di tipo tradizionale, in relazione agli impatti di energia incorporata e di CO₂



Figura 13.11: Padiglione Uruguay; Fonte: <https://www.elprimero.it/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E4

Edificio disassemblato e ricostruito in altro sito

PRINCIPI PROGETTUALI ADOTTATI

Design for deconstruction

Materiali riciclabili o riutilizzabili

STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO Acciaio e legno

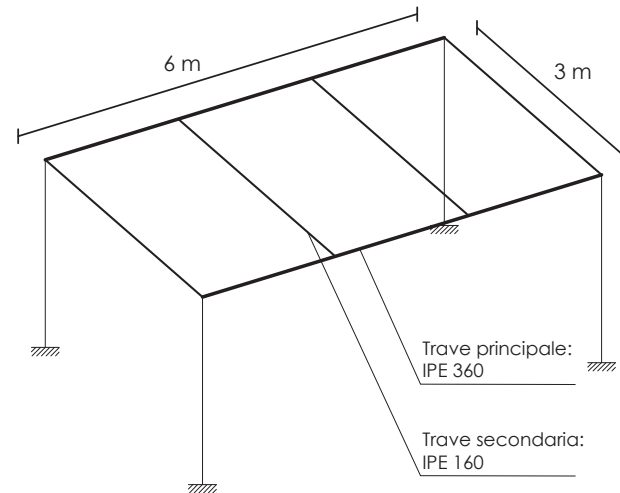


Figura 13.12: Schema strutturale; Fonte: elaborazione personale;

STRUTTURA PORTANTE TRADIZIONALE Laterocemento

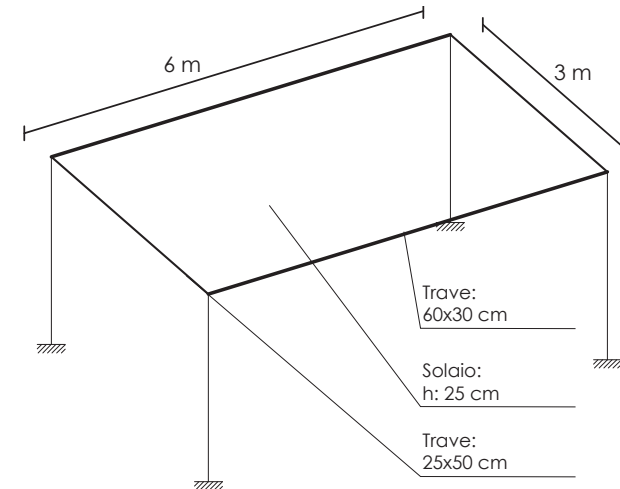


Figura 13.13: Schema strutturale; Fonte: elaborazione personale;

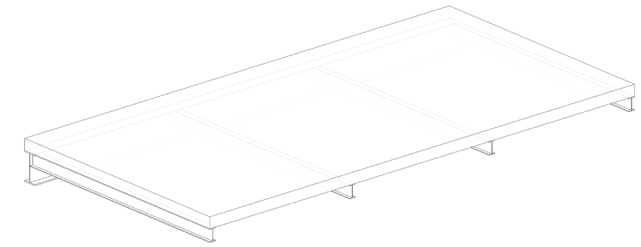


Figura 13.14: Vista assometrica del solaio in acciaio e legno; Fonte: elaborazione personale;

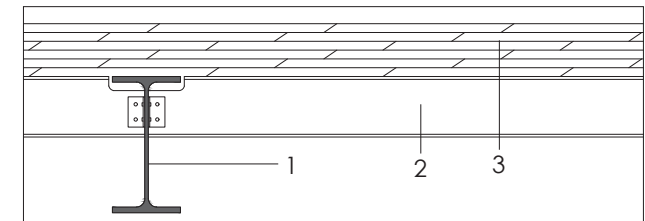


Figura 13.15: Stratigrafia caso studio. (1) Trave principale IPE 360, (2) trave secondaria IPE 160, (3) Solaio X-LAM altezza 14 cm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;

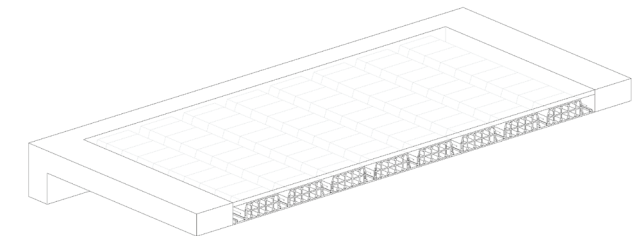


Figura 13.16: Vista assometrica del solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;

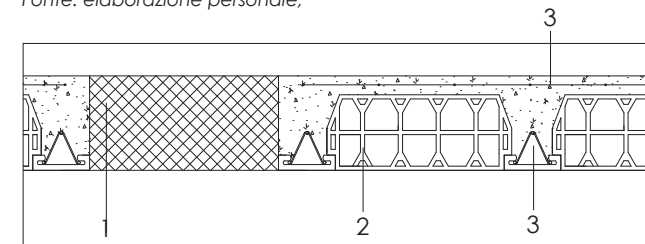


Figura 13.17: Stratigrafia solaio laterocemento. (1) Trave 25x50, (2) pignatta 20cm, (3) Traliccio Φ 8mm, (4) Riempimento in cls 5cm, (5) rete elettrosaldada Φ 5mm; Scala 1:20; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO - Acciaio e legno

STRATO O ELEMENTO	VOLUME TOTALE (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ eq/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ eq/mq)
1_Travi IPE 360	0,0864	7500	648	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	22939,20	1872,72
2_Travi IPE 160	0,024	7500	180	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	6372	520,20
3_Solaio X-LAM	2,52	500	1260	12	0,87	Timber_glue laminated	ICE 2011	15120	1096,20
Totale								44431,20	3489,12
Valore al mq								2468,40	193,84

Tabella 13.11: Calcolo embodied energy ed embodied carbon del solaio del caso studio in acciaio e legno; Fonte: elaborazione personale;

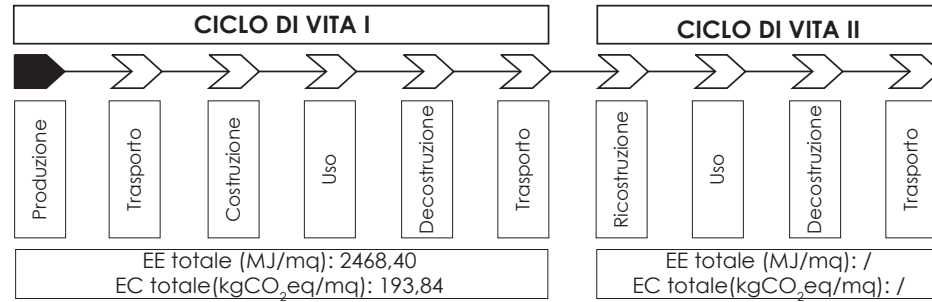
Soluzione meno vantaggiosa

EE-EC STRUTTURA PORTANTE TRADIZIONALE - Laterocemento

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ eq/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ eq/mq)
1_Trave 25x50	0,3	2400	720	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	1382	142,56
2_Pignatta h. 20 cm	2,4576	520	1277,95	3	0,24	Clay_general	ICE 2011	3833,86	306,71
3_Traliccio ø 8mm	0,0054	7500	40,50	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	1433,70	117,05
5_Riempimento	0,888	1800	1598,40	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	1198,80	171,03
4_Rete elettrosaldada	0,0024	7500	18	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	637,20	52,02
6_Trave 60x30	2,16	2400	5184	1,92	0,198	Reinforced RC 25/30 Mpa	ICE 2011	9953	1026,432
Totale								18439,24	1815,79
Valore al mq								1024,40	100,88

Tabella 13.12: Calcolo embodied energy ed embodied carbon del solaio in laterocemento; Fonte: elaborazione personale;

STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO - Acciaio e legno



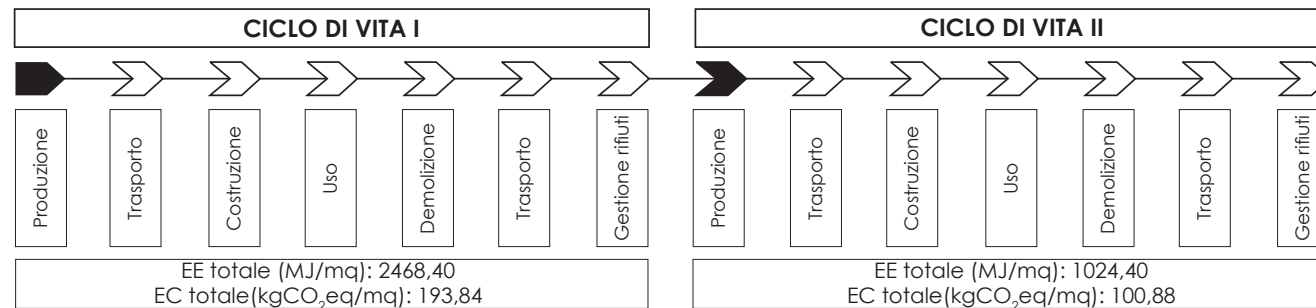
EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **2468,40**

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (kgCO₂e/mq) - **193,84**

STRUTTURA PORTANTE TRADIZIONALE - Laterocemento



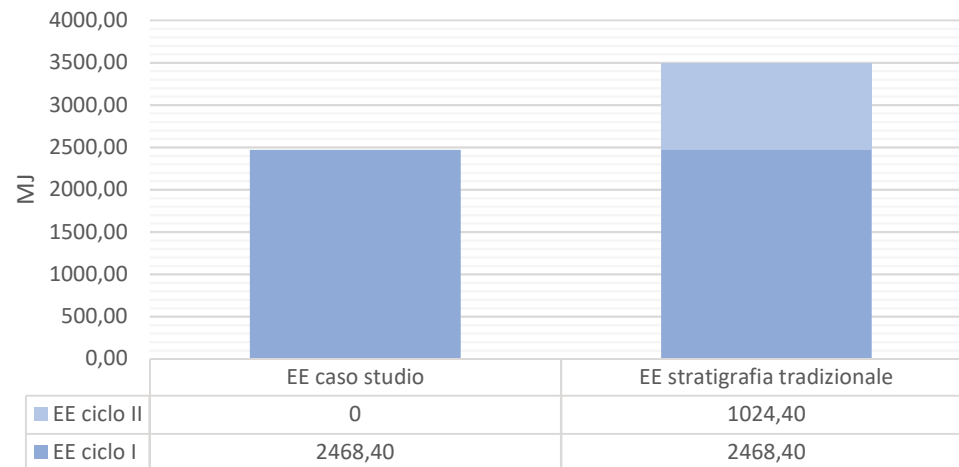
EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **3492,80**

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (kgCO₂e/mq) - **294,72**

EMBODIED ENERGY



EMBODIED CARBON

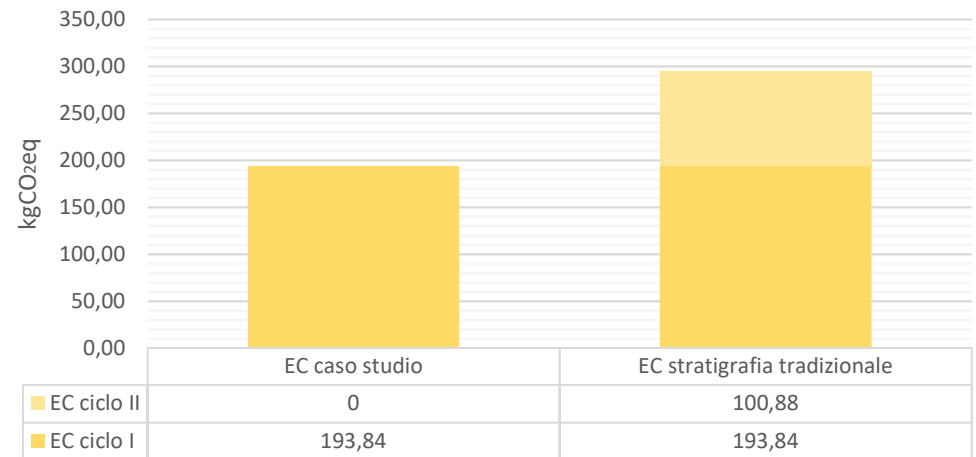


Grafico 13.19: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

Grafico 13.20: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

13.3.2 Considerazioni conclusive

Dall'analisi più approfondita del seguente caso studio è emerso che realizzare un edificio con struttura portante in acciaio e legno, interamente disassemblabile, risulta essere più impattante, in relazione all'energia incorporata, rispetto alla realizzazione di un edificio con struttura portante di tipo tradizionale in laterocemento. Per questa ragione, durante il primo ciclo vitale dell'edificio, stimato in circa 50 anni, sembra preferibile l'utilizzo di strutture tradizionali. Per quanto riguarda invece la CO₂ incorporata, la soluzione disassemblabile, anche durante il primo ciclo di vita dell'edificio, è più vantaggiosa rispetto alla soluzione tradizionale. Osservando il problema dal

punto di vista circolare, a fine vita utile, l'edificio, nel primo caso può essere disassemblato e ricostruito, o i suoi materiali possono essere riusati o riciclati, nel secondo caso invece, l'edificio realizzato con tecniche tradizionali dovrà essere demolito in modo collettivo e la maggior parte dei materiali non potranno essere ne riusati ne riciclati. Per queste ragioni, è necessario considerare gli impatti totali relativi a due cicli di vita: in questa situazione è evidente che la soluzione disassemblabile risulta essere migliore rispetto alla soluzione tradizionale sia per quanto riguarda l'energia incorporata che per la CO₂. Inoltre, affinché risulti vantaggiosa in termini di CO₂ incorporata la soluzione disassemblabile, anche nel solo primo ciclo di vita dell'edificio,

è sufficiente utilizzare materiali non vergini ma di riuso o con contenuto di riciclato, come ad esempio per l'acciaio. Infine è necessario precisare che la soluzione adottata per il caso studio in questione, realizzata in acciaio e legno, rappresenta di per sé una struttura realizzata con materiali particolarmente impattanti (acciaio) nel loro primo ciclo di vita; utilizzare un sistema interamente in legno sarebbe stata sicuramente una soluzione più vantaggiosa.

EE-EC STRUTTURA PORTANTE CASO STUDIO - con acciaio riciclato

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ eq/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ eq/mq)
1_Travi IPE 360	0,0864	7500	648	9,4	0,47	Steel_general_recycled	ICE 2011	6091,20	304,56
2_Travi IPE 160	0,024	7500	180	9,4	0,47	Steel_general_recycled	ICE 2011	1692	84,60
3_Solaio X-LAM	2,52	500	1260	12	0,87	Timber_glue laminated	ICE 2011	15120	1096,20
Totale								22903,20	1485,36
Valore al mq								1272,40	82,52

Tabella 13.13: Calcolo embodied energy ed embodied carbon ipotesi con materiale con contenuto di riciclato; Fonte: elaborazione personale;

Confronto energia incorporata soluzione stratigrafica del caso studio, soluzione stratigrafica tradizionale e con l'utilizzo di materiali riciclati.

EMBODIED ENERGY

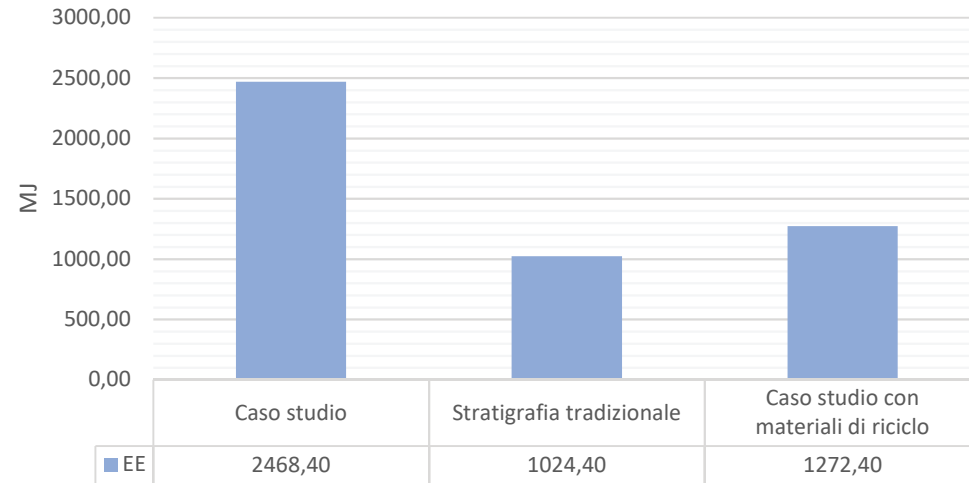


Grafico 13.21: Comparazione embodied energy caso studio, stratigrafia tradizionale e caso studio con materiali di riciclo; Fonte: elaborazione personale;

Confronto emissioni di anidride carbonica soluzione stratigrafica del caso studio, soluzione stratigrafica tradizionale e con l'utilizzo di materiali riciclati

EMBODIED CARBON

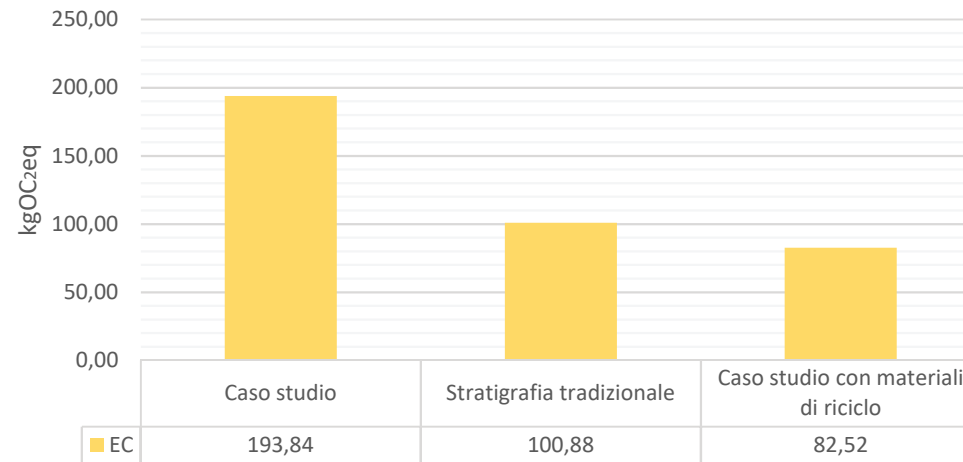


Grafico 13.22: Comparazione embodied carbon caso studio, stratigrafia tradizionale e caso studio con materiali di riciclo; Fonte: elaborazione personale;

13.4 Design for Adaptability

13.4.1 Il caso studio BRIN 69

OBIETTIVO

Dimostrare l'efficacia o meno dell'utilizzo di pareti divisorie interne removibili, che permettono l'adattabilità degli uffici, rispetto all'uso di divisori di tipo tradizionale, in relazione agli impatti di energia incorporata e di CO₂



Figura 13.18: Brin 69; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E3

Riuso e conversione edificio esistente con demolizioni parziali, ricostruzioni o ampliamenti

PRINCIPI PROGETTUALI ADOTTATI

Design for adaptability

Materiali riciclabili o riutilizzabili

Uso efficiente delle risorse

PARETE DIVISORIA REMOVIBILE CASO STUDIO Cartongesso

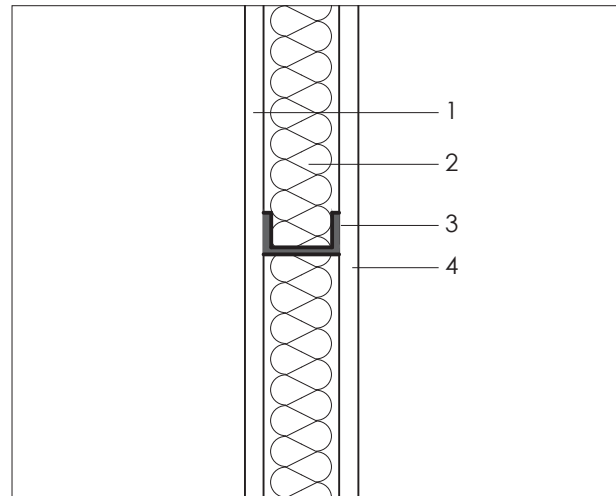


Figura 13.19: Stratigrafia parete caso studio. (1) cartongesso 1,25 cm, (2) isolante in sughero 5 cm, (3) profili in alluminio, (4) cartongesso 1,25 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;

PARETE DIVISORIA REMOVIBILE Legno

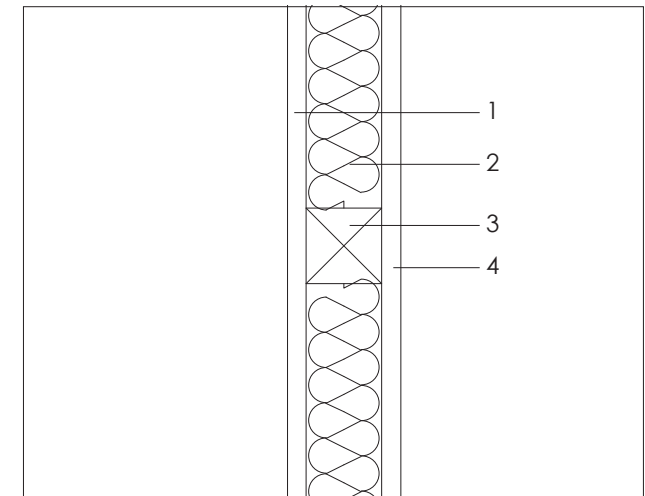


Figura 13.21: Stratigrafia parete caso studio. (1) pannello MDF 1,2 cm, (2) isolante in sughero 5 cm, (3) montanti in legno 5x5 cm, (4) pannello MDF 1,2 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;

PARETE DIVISORIA TRADIZIONALE Mattoni forati

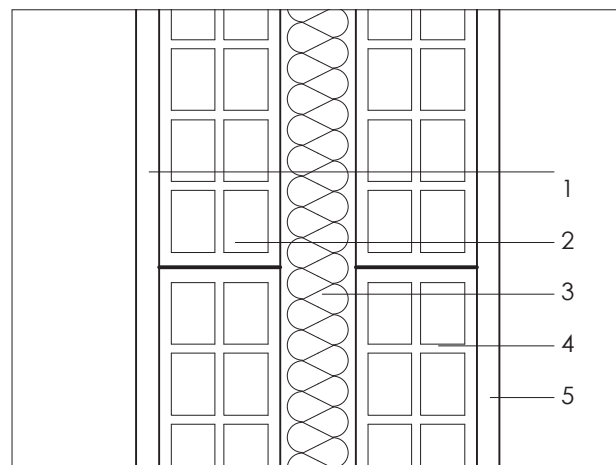


Figura 13.20: Stratigrafia parete tradizionale; (1) intonaco 1,5 cm, (2) mattoni forati 8 cm, (3) isolante in sughero 5 cm, (4) mattoni forati 8 cm, (5) intonaco 1,5 cm; Scala 1:5; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC PARETE DIVISORIA REMOVIBILE CASO STUDIO - Cartongesso

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO _{2e} q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO _{2e} q/mq)
1_Carongesso	0,0125	760	9,5	6,75	0,39	Plasterboard_general	ICE 2011	64,125	3,705
2_Isolante	0,05	30	1,5	4	0	Insulation_cork	ICE 2011	6	0
3_Profilini in alluminio	0,0018	2800	5,04	218	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	1098,72	64,4616
4_Carongesso	0,0125	760	9,5	6,75	0,39	Plasterboard_general	ICE 2011	64,125	3,705
Totale								1232,97	71,87

Tabella 13.14: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete in cartongesso del caso studio; Fonte: elaborazione personale;

Soluzione meno vantaggiosa

EE-EC PARETE DIVISORIA REMOVIBILE CASO STUDIO - Legno

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO _{2e} q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO _{2e} q/mq)
1_Pannello MDF	0,012	820	9,84	11	0,74	Timber_MDF	ICE 2011	108,24	7,2816
2_Isolante	0,05	30	1,5	4	0	Insulation_cork	ICE 2011	6	0
3_Montanti in legno	0,005	750	3,75	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	37,5	2,7
4_Pannello MDF	0,012	820	9,84	11	0,74	Timber_MDF	ICE 2011	108,24	7,2816
Totale								259,98	17,26

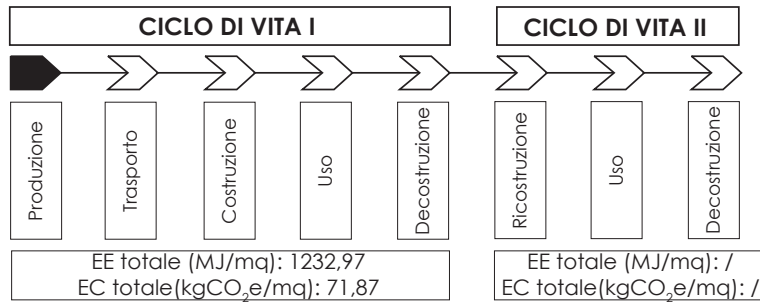
Tabella 13.15: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete in legno; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC PARETE DIVISORIA TRADIZIONALE - Mattoni forati

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO _{2e} q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO _{2e} q/mq)
1_Intonaco	0,015	2200	33	1,8	0,13	Plaster_general	ICE 2011	59,4	4,29
2_Laterizi forati	0,08	1200	96	3	0,24	Bricks_general	ICE 2011	288	23,04
3_Isolante	0,05	30	1,5	4	0	Insulation_cork	ICE 2011	6	0
4_Laterizi forati	0,08	1200	96	3	0,24	Bricks_general	ICE 2011	288	23,04
5_Intonaco	0,015	2200	33	1,8	0,13	Plaster_general	ICE 2011	59,4	4,29
Totale								700,80	54,66

Tabella 13.16: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete realizzata in mattoni forati; Fonte: elaborazione personale;

PARETE DIVISORIA REMOVIBILE CASO STUDIO - Cartongesso



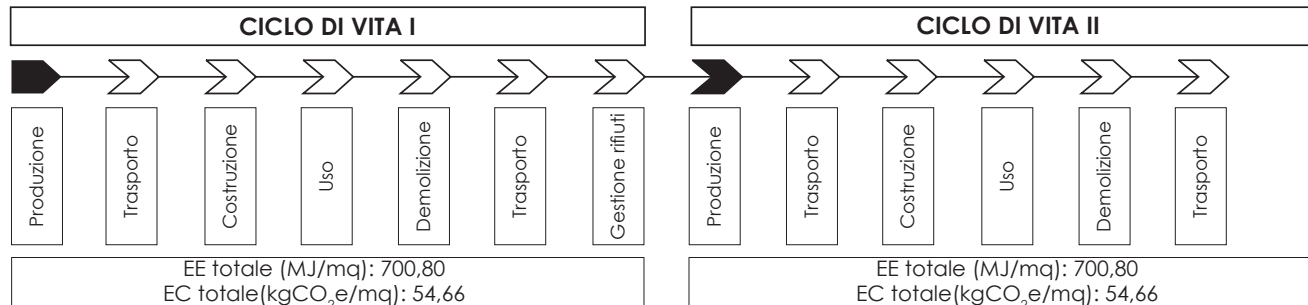
EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **1232,97**

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **71,87**

PARETE DIVISORIA TRADIZIONALE - Mattoni forati



EE totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **1401,6**

EC totale

dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio (MJ/mq) - **109,32**

EMBODIED ENERGY

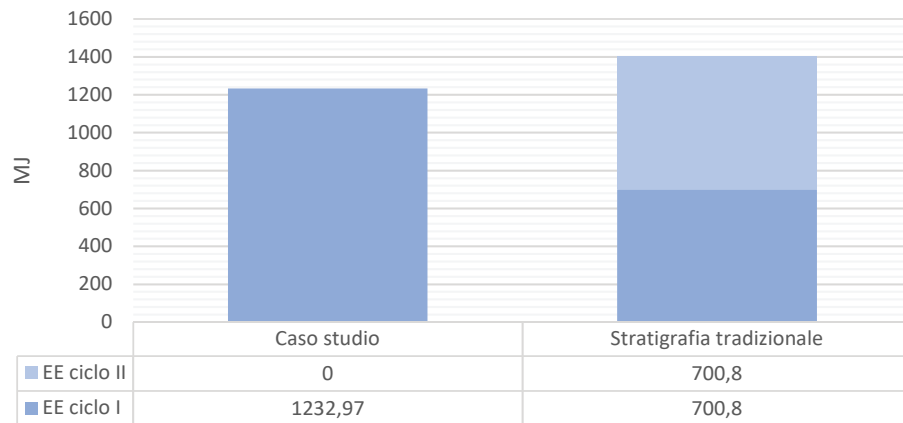


Grafico 13.23: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED CARBON

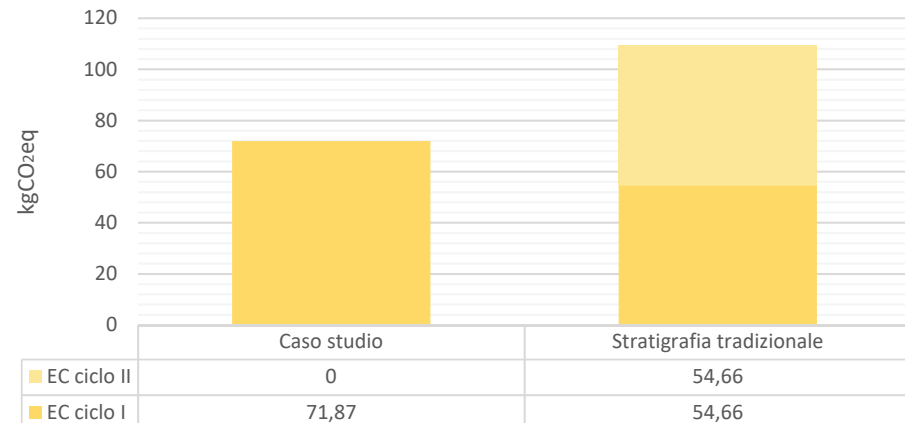


Grafico 13.24: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

13.4.2 Considerazioni conclusive

La realizzazione di pareti interne removibili permette sicuramente una maggiore flessibilità e adattabilità dell'edificio, ma, come si evince dai grafici riportati di seguito, questa soluzione, rispetto ad una parete interna di tipo tradizionale in mattoni forati, risulta essere più impattante sotto il profilo sia dell'energia incorporata che della CO₂ incorporata. Principalmente ciò è dovuto al fatto che le pareti divisorie removibili sono solitamente realizzate con guide e intelaiature di tipo metallico, il quale sappiamo essere un materiale molto impattante sotto il profilo energetico e ambientale. Anche in questa situazione però, analizzando i valori

relativi all'energia incorporata totale dopo il secondo ciclo di vita dell'edificio, la soluzione removibile risulta essere più favorevole, in quanto permette di riadattare gli spazi interni in base alle esigenze senza ricorrere alla demolizione e successiva ricostruzione (come accadrebbe per la soluzione di tipo tradizionale).

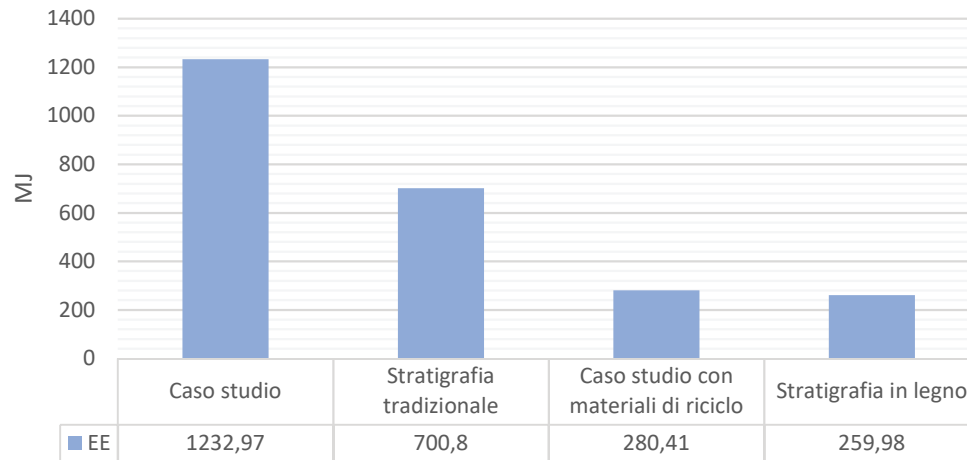
Infine, anche in questo caso, ricorrere a soluzioni realizzate tramite elementi e materiali di riciclo, risulta comunque essere la strategia più vantaggiosa, sia in termini di energia incorporata che di CO₂ incorporata. Utilizzare per i profili e le guide delle pareti divisorie acciaio di riciclo comporta una notevole riduzione degli impatti, sia nel primo ciclo di vita dell'edificio che nel secondo ciclo di vita.

EE-EC PARETE DIVISORIA REMOVIBILE CASO STUDIO - con alluminio riciclato

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ e q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e/mq)
1_Carongesso	0,0125	760	9,5	6,75	0,39	Plasterboard_general	ICE 2011	64,125	3,705
2_Isolante	0,05	30	1,5	4	0	Insulation_cork	ICE 2011	6	0
3_Profili in alluminio riciclato	0,0018	2800	5,04	29	1,81	Aluminium_recycled	ICE 2011	146,16	9,1224
4_Carongesso	0,0125	760	9,5	6,75	0,39	Plasterboard_general	ICE 2011	64,125	3,705
Totale								280,41	16,53

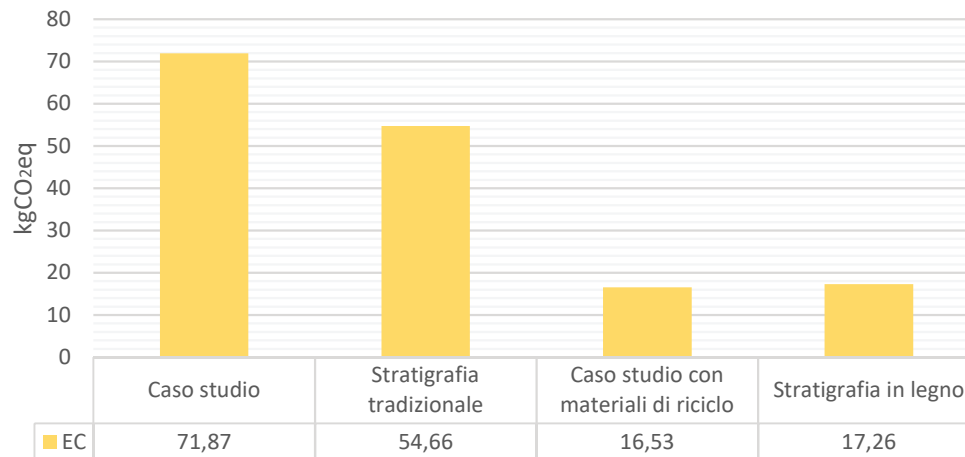
Tabella 13.17: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete divisoria del caso studio con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED ENERGY



Confronto energia incorporata soluzione stratigrafica del caso studio, soluzione stratigrafica tradizionale, con l'utilizzo di materiali riciclati e soluzione stratigrafica in legno

EMBODIED CARBON



Confronto emissioni di anidride carbonica soluzione stratigrafica del caso studio, soluzione stratigrafica tradizionale, con l'utilizzo di materiali riciclati e soluzione stratigrafica in legno

Grafico 13.26: Comparazione embodied carbon tra caso studio, stratigrafia tradizionale, caso studio con materiali di riciclo e stratigrafia in legno; Fonte: elaborazione personale;

13.5 Progettazione secondo Layers

13.5.1 il caso studio Ty Pren

OBIETTIVO

Dimostrare l'efficacia o meno dell'utilizzo di pareti esterne progettate secondo *Layers*, smontabili e riparabili rispetto alla realizzazione di pareti tradizionali, in relazione agli impatti di energia incorporata e di CO₂; si ipotizza il caso in cui vengano sostituiti gli impianti a parete.



Figura 13.22: Ty Pren; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E1

M4.1

M4.2

Nuova costruzione con riutilizzo di materiali edili provenienti da altri cantieri sia per stessa che diversa funzione rispetto all'origine.

PRINCIPI PROGETTUALI ADOTTATI

Design for deconstruction

Building in layers

Materiali riciclabili o riutilizzabili

Design for Off-site construction

Materiali locali

PARETE ESTERNA CASO STUDIO con impianti in intercapedine

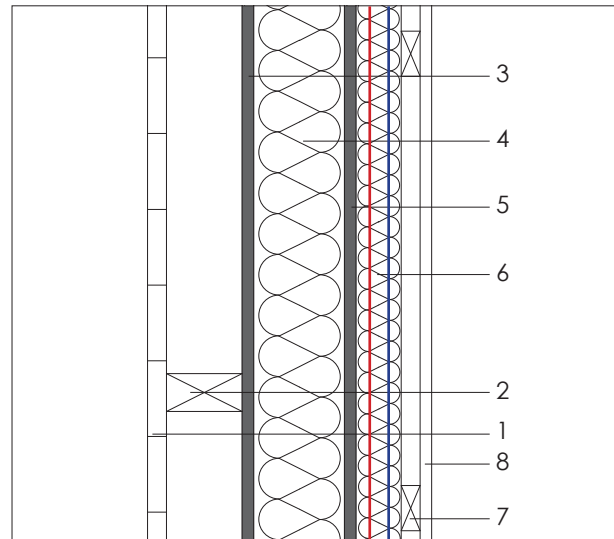


Figura 13.23: Stratigrafia parete caso studio;
Fonte: elaborazione personale;

STRATIGRAFIA PARETE ESTERNA

- 1_Rivestimento in legno di larice
- 2_Listelli di legno
- 3_SIP (Kingspan TEK wall panel) - OSB
- 4_SIP (Kingspan TEK wall panel) - Isolante
- 5_SIP (Kingspan TEK wall panel) - OSB
- 6_Isolante
- 7_Listelli di legno
- 8_Lastra di cartongesso

PARETE ESTERNA TRADIZIONALE con impianti in traccia

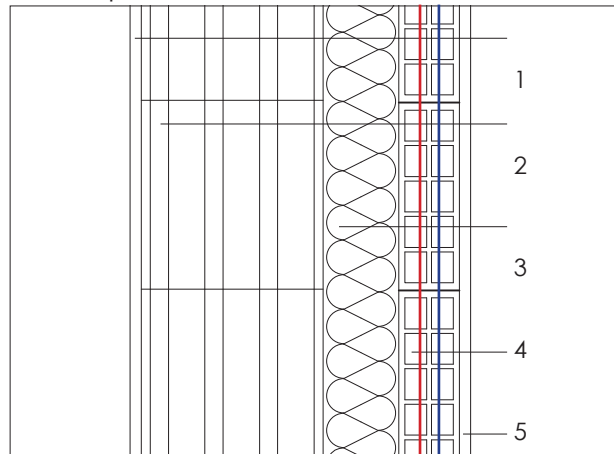


Figura 13.24: Stratigrafia parete tradizionale;
Fonte: elaborazione personale;

STRATIGRAFIA PARETE ESTERNA

- 1_Intonaco 1,5 cm
- 2_Laterizi forati 24 cm
- 3_Isolante 5 cm
- 4_Laterizi forati 8 cm
- 5_Intonaco 1,5 cm

EE-EC PARETE ESTERNA CASO STUDIO - con impianti in intercapedine

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ e q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e/mq)
1_Rivestimento in legno di larice	0,024	550	13,2	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	132	9,504
2_Listelli di legno	0,01	750	7,5	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	75	5,4
3_SIP (Kingspan TEK wall panel) - OSB	0,015	630	9,45	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	141,75	9,3555
4_SIP (Kingspan TEK wall panel) - Isolante	0,112	33	3,696	101,5	4,26	Insulation_Polyutherane rigid	ICE 2011	375,144	15,74496
5_SIP (Kingspan TEK wall panel) - OSB	0,015	630	9,45	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	141,75	9,3555
6_Isolante in lana di pecora	0,06	31	1,86	20,9	0	Insulation_wool (recycled)	ICE 2011	38,874	0
7_Listelli di legno	0,0025	750	1,875	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	18,75	1,35
8_Lastra di cartongesso	0,015	760	11,4	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	76,95	4,446
Totale								1000,22	55,16

Tabella 13.18: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete del caso studio; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC PARETE ESTERNA TRADIZIONALE - con impianti in traccia

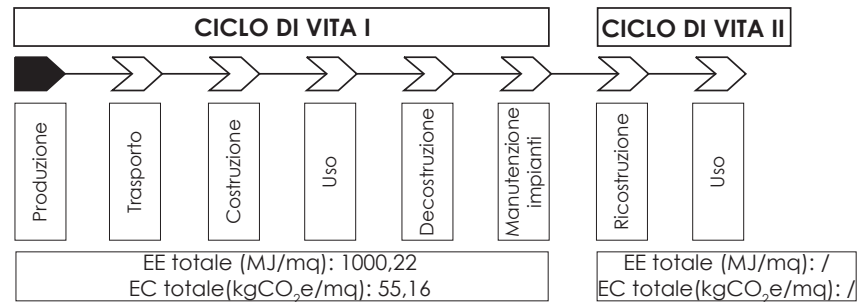
STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ e q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e/mq)
1_Intonaco	0,015	2200	33	1,8	0,13	Plaster_general	ICE 2011	59,4	4,29
2_Laterizi forati	0,24	1200	288	3	0,24	Bricks_general	ICE 2011	864	69,12
3_Isolante	0,1	75	7,5	28	0	Insulation_Glasswool	ICE 2011	210	0
4_Laterizi forati	0,08	1200	96	3	0,24	Bricks_general	ICE 2011	288	23,04
5_Intonaco	0,015	2200	33	1,8	0,13	Plaster_general	ICE 2011	59,4	4,29
Totale								1480,80	100,74

Tabella 13.19: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete realizzata con sistemi tradizionali; Fonte: elaborazione personale;

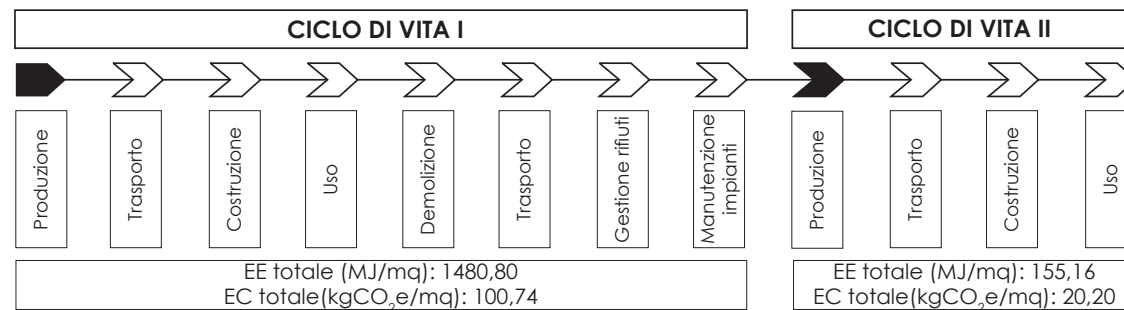
Soluzione meno vantaggiosa

SOSTITUZIONE IMPIANTI DANNEGGIATI

PARETE ESTERNA CASO STUDIO - impianti in intercapedine isolante



PARETE ESTERNA TRADIZIONALE - impianti in traccia



Trattandosi di una parete realizzata secondo strati differenti, per sostituire porzioni di impianti danneggiati, è sufficiente smontare il rivestimento interno in cartongesso. Una volta riparato l'impianto danneggiato, si procede al rimontaggio degli elementi precedentemente smontati, senza dover ricorrere all'utilizzo di nuovi materiali. L'unica operazione che comporta la produzione di impatti in relazione all'energia e alla CO₂ incorporata è data dalla sostituzione degli impianti danneggiati. Tutto il restante materiale può essere recuperato completamente. La parete tradizionale, invece, è realizzata tramite assemblaggi a umido, che rendono impossibile la separazione degli strati; è necessario quindi demolire lo strato interno in mattoni. Una volta riparato l'impianto danneggiato, si procede alla ricostruzione dello strato interno con malta cementizia e dello strato d'intonaco. In questo caso sia la demolizione che la ricostruzione comportano la produzione in primo luogo di rifiuti, difficilmente recuperabili, di energia e

STRATO O ELEMENTO	VOLUME STRATO (mc/mq)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg/mq)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ e q/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e/mq)
1_ Malta cementizia	0,06	1200	72	1,33	0,221	Bricks_general	ICE 2011	95,76	15,912
2_Laterizi forati	0,08	1200	96	3	0,24	Bricks_general	ICE 2011	288	23,04
3_Intonaco	0,015	2200	33	1,8	0,13	Plaster_general	ICE 2011	59,4	4,29
Totale								443,16	43,24

Tabella 13.20: Calcolo embodied energy ed embodied carbon degli interventi di riparazione; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED ENERGY

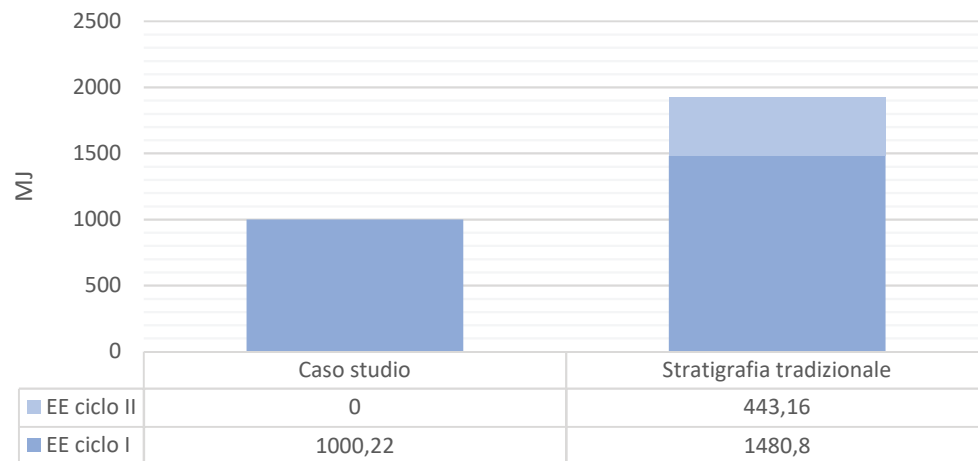


Grafico 13.27: Comparazione embodied energy del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED CARBON

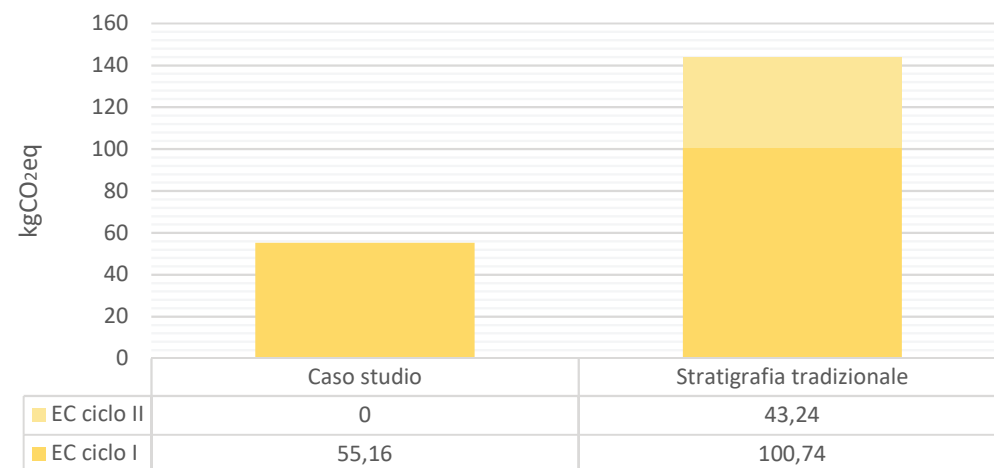


Grafico 13.28: Comparazione embodied carbon del primo e secondo ciclo di vita tra caso studio e stratigrafia tradizionale; Fonte: elaborazione personale;

CO₂ incorporata, data dalla produzione di nuovo materiale.

13.5.2 Considerazioni conclusive

Queste semplici dimostrazioni presentano un duplice scopo: il primo è volto a dimostrare che la soluzione stratigrafica progettata per layers del caso studio risulta comunque essere più vantaggiosa rispetto alla soluzione tradizionale: ciò è dovuto principalmente all'utilizzo di legno, sia per il rivestimento che per i montanti e i traversi, e di isolante in lana di pecora. Il secondo scopo è invece, più in dettaglio, volto ad appurare l'effettivo risparmio in termini di materia prima, energia incorporata e CO₂ della soluzione smontabile del caso studio, in caso di riparazioni di impianti, rispetto alla soluzione tradizionale. La soluzione progettata per layer può essere interamente smontata, riparata e successivamente rimontata senza l'utilizzo di nuova materia; la soluzione tradizionale, invece, comporta, oltre alla generazione di rifiuti a seguito della demolizione, l'utilizzo di nuova materia prima per la ricostruzione della porzione di parete riparata.

13.6 Progettare per la prefabbricazione

Realizzare edifici costituiti da componenti prefabbricate, in ottica circolare, risulta sicuramente essere una soluzione molto vantaggiosa, soprattutto in termini di risparmio di risorse utilizzate, incremento della vita utile e riduzione dei rifiuti generati. Il recente rapporto Horizon 2020 promuove l'uso della prefabbricazione e riconosce i benefici economici della prefabbricazione rispetto a costruzioni di tipo tradizionale. Nonostante vi sia una linea generale che riconosce i benefici della prefabbricazione e dell'industrializzazione, le valutazioni e quantificazioni effettive dei benefici in termini di vantaggi ambientali sono piuttosto limitate.

Per quanto riguarda l'assemblaggio in sito degli elementi prefabbricati è possibile sostenere che un grande beneficio della prefabbricazione è associato alla riduzione dei costi diretti e indiretti dovuti a tempi di costruzioni più brevi, minor numero di trasporti e minor numero di operai in cantiere, in quanto la pre-costruzione in stabilimento permette di sviluppare un livello di controllo della qualità piuttosto elevato. Uno studio condotto a Vancouver nel 1998, che ha analizzato i consumi dovuti sia al trasporto di materiale, sia al trasporto di operai, oltre ai consumi dovuti ai processi necessari per l'installazione in sito degli elementi di diverse soluzioni costruttive, ha dimostrato come un edificio prefabbricato

in acciaio ha ottenuto un valore di energia incorporata compresa tra 3 e 7 MJ/m², un edificio prefabbricato in legno tra 8 e 20 MJ/m², mentre un edificio realizzato in modo tradizionale in calcestruzzo armato tra 20 e 120 MJ/m² (Cole, 1999). Tuttavia un edificio prefabbricato in acciaio comporta un consumo di energia maggiore di quasi il 50% rispetto a un edificio realizzato in calcestruzzo armato in fase di produzione dei materiali, mentre un edificio prefabbricato in legno comporta un consumo di energia maggiore del 10% in fase di produzione dei materiali (Aye et al., 2012).

Un ulteriore vantaggio dei sistemi prefabbricati è dato dalla riduzione dei rifiuti prodotti durante la fase di costruzione: per edifici prefabbricati in legno si stima una riduzione di circa il 74%, mentre per edifici prefabbricati in acciaio la riduzione dei rifiuti prodotti può raggiungere valori intorno all'84% (Tam et al., 2007). Inoltre, la realizzazione di elementi prefabbricati in stabilimento permette il riuso e il reimpiego di materiale e rifiuti all'interno della stessa catena produttiva che può ridurre del 2% i consumi delle risorse primarie (Lu et al., 2013).

La prefabbricazione, infine, comporta vantaggi anche per quanto riguarda la fase di fine vita in quanto è strettamente collegata al tipo di assemblaggio dei componenti edilizi. I sistemi prefabbricati che utilizzano collegamenti meccanici come ad esempio bulloni, permettono il

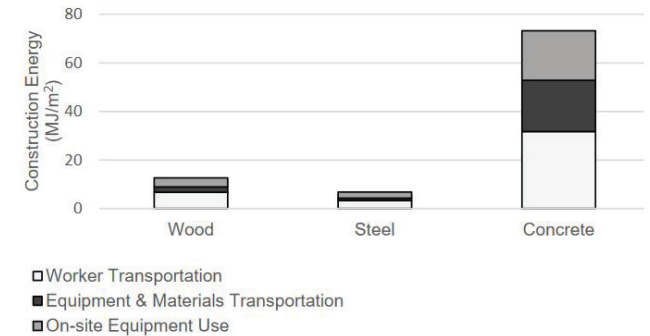


Grafico 13.29: Comparazione dell'energia incorporata della fase di costruzione di un edificio realizzato in legno, acciaio e calcestruzzo calcolando gli impatti dovuti al trasporto di operai, al trasporto di materiali ed attrezzature, e all'utilizzo di attrezzature in cantiere; Fonte: Cole, 1999;

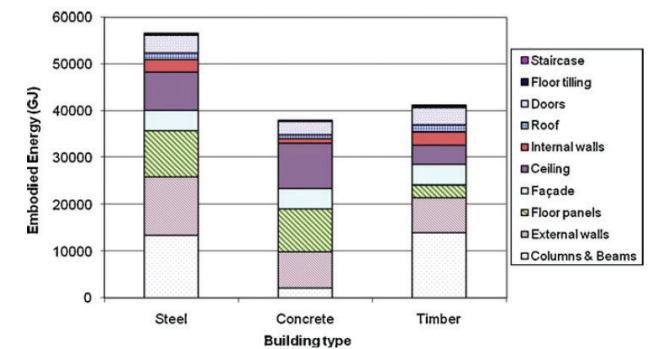


Grafico 13.30: Comparazione dell'energia incorporata della fase di produzione di un edificio prefabbricato in acciaio, calcestruzzo e legno. La valutazione LCA è stata svolta su un edificio residenziale; Fonte: Aye et al., 2012;

disassemblaggio completo degli elementi prefabbricati garantendo una migliore gestione degli elementi a fine vita. Uno studio condotto in Catalonia su un edificio scolastico realizzato con diversi sistemi costruttivi prefabbricati tra cui acciaio, legno e calcestruzzo in comparazione con lo stesso edificio realizzato con un sistema non prefabbricato in calcestruzzo armato gettato in opera, ha dimostrato che durante la fase di de-costruzione i rifiuti prodotti dall'edificio non prefabbricato ammontano a 4178 kg/m², mentre i rifiuti prodotti dai sistemi prefabbricati in acciaio, legno e calcestruzzo ammontano, rispettivamente, a 1253 kg/m², 2229 kg/m² e 2490 kg/m². Oltre a questo è stato calcolato anche il valore percentuale di quantità di materiale mandato a riciclo risultando del 5% per il sistema non prefabbricato, 35% per il sistema prefabbricato in acciaio, 45% per il sistema prefabbricato in legno e 25% per il sistema prefabbricato in calcestruzzo (Pons et al., 2011).

13.7 Gestione dei rifiuti da C&D

Molti tra i casi studio analizzati all'interno della seconda parte dell'elaborato evidenziano l'attenzione alla gestione dei rifiuti da C&D. Tale interesse è visibile sia nella gestione dei rifiuti derivanti dalle fasi di demolizione degli edifici esistenti, sia nella gestione efficiente degli scarti provenienti dalle fasi di costruzione di un nuovo edificio.

Nel corso degli ultimi due decenni sono state svolte numerose valutazioni LCA di edifici che spesso però trascurano le fasi di fine vita concentrandosi principalmente sulla fase di produzione dei materiali (Paleari et al., 2015). In molti casi, soprattutto in edifici costruiti dalla seconda metà del XX secolo, gli impatti energetici delle fasi di costruzione, demolizione e trasporto, rappresentano circa l'1% del totale del ciclo di vita dell'edificio (Sartori et al., 2007), un valore piuttosto basso rispetto agli impatti generati dalle fasi di produzione dei materiali e dalla fase d'uso.

Un'analisi LCA svolta su un campione di 51 edifici residenziali in Italia dimostra come il 97% del peso complessivo dei rifiuti generati dalle attività di demolizione sia materiale inerte che nel maggiore dei casi viene utilizzato per sottofondi o massetti per ragioni di convenienza economica (Paleari et al., 2015). Questo processo rappresenta quindi un riciclaggio dequalificante (operazione di downcycling). Una pratica di upcycling

applicata alle macerie da demolizione, riscontrata più volte anche nei casi studio, invece, è data dall'impiego delle macerie per generare aggregati utilizzabili per produrre calcestruzzo in sostituzione dell'utilizzo di aggregati naturali. In Italia, tuttavia, questo processo è ancora poco sviluppato: le Norme Tecniche per le Costruzioni consentono l'uso di aggregati riciclati in percentuali comprese tra il 5% e il 100% tuttavia impone di effettuare prove di laboratorio piuttosto frequenti scoraggiando, di conseguenza, la produzione di calcestruzzo con aggregati riciclati. In altri paesi europei, invece, come Danimarca, Paesi Bassi, Germania, l'uso di aggregato riciclato nelle produzioni di calcestruzzo è piuttosto elevato. Bisogna, però, sottolineare che nell'Europa meridionale, e quindi anche in Italia, il calcestruzzo viene utilizzato quasi esclusivamente per fondazioni e strutture portanti, mentre i solai strutturali vengono realizzati con elementi di alleggerimento in laterizio compromettendo l'omogeneità del rifiuto prodotto e, quindi, rendendolo più difficile da reimpiegare. Nell'analisi LCA svolta sul campione di 51 edifici residenziali in Italia è emerso, inoltre, che solo il 33% del totale degli inerti prodotti può essere considerato calcestruzzo puro e che quindi può potenzialmente generare aggregati utilizzabili, mentre il 67% è composto da laterizi, elementi ceramici, malte e calcestruzzi non separabili (Paleari et al., 2015). Per quanto riguarda i rifiuti prodotti in fase di costruzione, invece, una buona pratica è rappre-

sentata dal conferimento dei rifiuti prodotti in appositi contenitori per la raccolta differenziata con successivo trattamento in centri di riciclaggio. Il caso studio Council House II rappresenta un caso esemplare di gestione efficiente dei rifiuti da costruzione, in quanto più del 97% dei rifiuti prodotti in sito sono stati raccolti e mandati in centri di riciclaggio.

13.8 Presenza di materiali riciclabili o riutilizzabili a fine vita

13.8.1 Il caso studio Tvzeb OBIETTIVO

Dimostrare l'efficacia, in relazione agli impatti di energia incorporata e di CO₂, dell'utilizzo di materiali riutilizzabili o riciclabili a fine vita utile, quantificando così la percentuale di impatti evitati rispetto all'utilizzo di ulteriori nuovi materiali.



Figura 13.25: Tvzeb; Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E1

M2

Nuova costruzione con materiali riciclati con maggior valore rispetto all'origine (upcycling)

PRINCIPI PROGETTUALI ADOTTATI

Design for deconstruction

Building in layers

Materiali riciclabili o riutilizzabili

Materiali locali

Uso efficiente delle risorse

PARETE ESTERNA

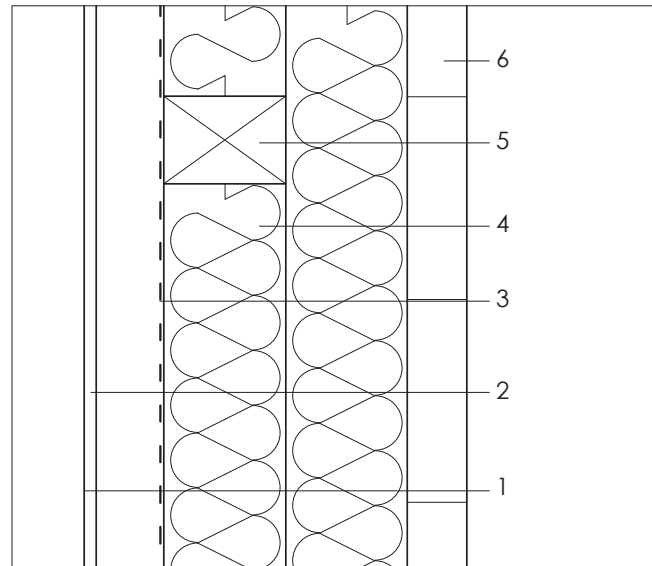


Figura 13.26: Stratigrafia parete caso studio;
Fonte: elaborazione personale;

STRATIGRAFIA PARETE ESTERNA

- 1_Rivestimento esterno in Corten
- 2_Pannello OSB
- 3_Membrana impermeabilizzante in goretex
- 4_Isolante in lana di poliestere
- 5_Listelli di legno
- 6_Rivestimento interno in legno

EE-EC PARETE ESTERNA

STRATO O ELEMENTO	SUPERFICIE TOTALE (mq)	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e q/mq)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO ₂ e q)
1_Rivestimento esterno in Corten	163	1671,588	136,4658	Steel_general_virgin	ICE 2011	272468,844	22243,9254
2_Pannello OSB	240	20,79	0	Timber_OSB	ICE 2011	4989,6	0
3_Membrana impermeabilizzante	240	201,96	3,88	Bitumen_general	ICE 2011	48470,4	931,2
4_Isolante in lana di poliestere	240	98,55	0	Plastics_PET_recycled	ICE 2008	23652	0
5_Listelli di legno	240	146,025	0	Timber_Hardwood	ICE 2011	35046	0
6_Rivestimento interno in legno	240	108,9	0	Timber_Hardwood	ICE 2011	26136	0
Totale						410762,84	23175,13

Tabella 13.21: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete del caso studio; Fonte: elaborazione personale;

EE-EC MATERIALI RICICLABILI

STRATO O ELEMENTO	SUPERFICIE TOTALE (mq)	EE STRATO (MJ/mq)	EC STRATO (kgCO ₂ e q/mq)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (M.J)	EC TOTALE (kgCO ₂ e q)
1_Rivestimento esterno in Corten	163	443,868	22,1934	Steel_general_recycled	ICE 2011	72350,484	3617,5242
2_Pannello OSB	240	2,079	0	Timber_OSB recycled	ICE 2011	498,96	0
3_Membrana impermeabilizzante	240	201,96	3,8808	Bitumen_recycled	ICE 2011	48470,4	931,392
4_Isolante in lana di poliestere	240	98,55	0	Plastics_PET_recycled	ICE 2008	23652	0
5_Listelli di legno	240	14,6025	0	Timber_recycled	ICE 2011	3504,6	0
6_Rivestimento interno in legno	240	10,89	0	Timber_recycled	ICE 2011	2613,6	0
Totale						151090,04	4548,92

Tabella 13.22: Calcolo embodied energy ed embodied carbon della parete con materiali riciclati; Fonte: elaborazione personale;

EPD[®]

2.14 Re-use phase

Reuse: When renovating or discontinuing the utilisation phase of a building, OSB boards can be easily collected separately during demolition, and be reused for the same or a different application. As a rule, exceptions to this are OSB boards that have been bonded full surface.

2.15 Disposal

Waste code: 030104 / 170201 acc. to IAVV/.

Material utilisation: Untreated OSB boards can be used as recycling material for the production of chipboards when collected by type.

Energy utilisation: When neither reuse or material recycling are possible, energy utilisation should be pushed instead of landfilling. With the high average calorific value of approximately 17 MJ/kg an energy utilisation of board residues from the construction site as well as from demolition measures is recommended. They may only be burned in suitable and legally permitted facilities. Local stipulations are available from the relevant authorities.

Packaging: Transport packaging; paper/cardboard and steel strapping can be collected separately and recycled appropriately. The cover boards can be re-used. Retrieval of the packaging material can be arranged with the manufacturer in individual cases.

Figura 13.27: Dichiarazione EPD pannelli OSB; Fonte: <http://www.environdec.com/>;

13.8.2 Considerazioni conclusive

A fine vita utile, l'edificio verrà smontato, in quanto progettato con componenti disassemblabili e assemblate per lo più a secco, e i materiali potranno essere riutilizzati o riciclati per nuovi utilizzi. In particolare, per quanto riguarda i materiali che compongono la stratigrafia delle pareti esterne opache, essi possono essere tutti riutilizzati oppure riciclati. Ciò consente di evitare la produzione di rifiuti da demolizione in cantiere e l'utilizzo di nuova materia prima. Più nel dettaglio, il riuso consente di recuperare i materiali e riutilizzarli senza dover apportare lavorazioni e ulteriore spreco di energia; il riciclo, invece, consente di evitare il consumo di nuova materia, ma i materiali riciclati hanno bisogno, per essere tali, di processi produttivi e lavorazioni aggiuntive che implicano l'utilizzo di nuova energia. Nonostante ciò, entrambe le soluzioni (riuso e riciclo) permettono di risparmiare molta più materia ed energia rispetto all'utilizzo di materiali vergini. Per questi motivi, è molto importante scegliere materiali che presentino un certo quantitativo di materiale riciclato e questa informazione è deducibile dalla Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD, di tipo volontario, la quale quantifica le prestazioni ambientali dei prodotti mediante parametri di sostenibilità universalmente riconosciuti.

EMBODIED ENERGY

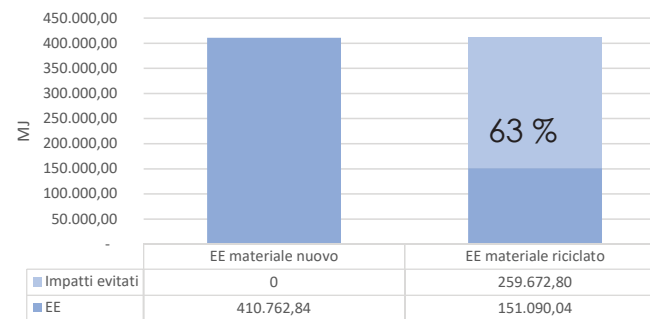


Grafico 13.31: Comparazione embodied energy tra caso studio con materiale nuovo e con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED CARBON

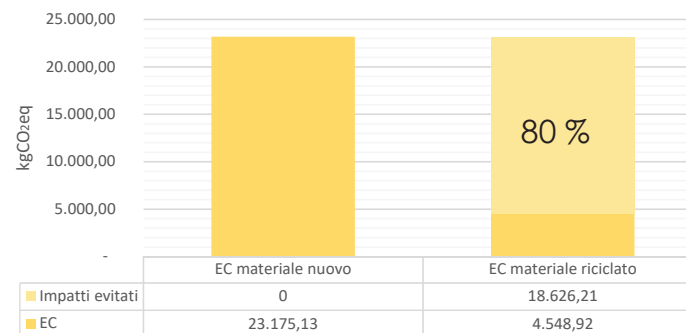


Grafico 13.32: Comparazione embodied carbon tra caso studio con materiale nuovo e con materiale riciclato; Fonte: elaborazione personale;

13.9 Presenza di materiali locali

13.9.1 Il caso studio Aizkibel Library Extension

OBBIETTIVO

Dimostrare l'importanza dell'utilizzo di materiali locali, riferendosi agli impatti generati dai mezzi nella fase di trasporto.



Figura 13.28: Aizkibel Library Extension;
Fonte: <https://www.archdaily.com/>;

SCENARIO D'INTERVENTO

E3

M3

Riuso e conversione edificio esistente con ampliamento e riutilizzo di materiali provenienti da altri settori

PRINCIPI PROGETTUALI ADOTTATI

Design for deconstruction
Materiali riciclabili o riutilizzabili
Materiali locali

Il caso studio in questione, riutilizza le traversine in legno dei binari della vecchia ferrovia come rivestimento esterno del nuovo edificio: in questo caso il riuso di materiale è avvenuto nello stesso sito o nelle zone limitrofe, per queste ragioni si considera un raggio di reperimento del materiale massimo di 5 km. I valori relativi al trasporto su gomma PEI e GWP sono:

MEZZO DI TRASPORTO	TONNELLATE	PEI nr (MJ)	PEI r (MJ)	PEI tot (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)
Camion	16,00	5,19	0,09	5,28	0,32
Camion	32,00	3,71	0,06	3,77	0,22
Camion	40,00	2,80	0,41	3,21	0,17

Tabella 13.23: PEI e GWP dei trasporti su camion; Fonte: Banca dati Ecoinvent v1.3;

Confrontando il riuso, il riciclo e il nuovo materiale, reperito a 5 km dal sito, si ottengono i seguenti valori di EE e PEI (relativa ai trasporti su camion):

MATERIALE	VOCE DATABASE	FOENTE	QUANTITA' (kg)	EE nuovo (MJ/kg)	EE riciclato (MJ/kg)	EE riuso (MJ/kg)	EE nuovo (MJ)	EE riciclato (MJ)	EE riuso (MJ)
Legno	Timber_Hardwood	ICE 2008	26880	3,3	0,33	0	88.704,00	8.870,40	0

TRASPORTI	QUANTITA' (t)	Distanza (km)	Peso x distanza (tkm)	PEI (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	Numero di trasporti	PEI totale (MJ)	GWP totale (kgCO ₂ eq)
Camion carico (32t)	26,88	5,00	134,40	506,30	29,97	1	506,30	29,97
Camion scarico (32t)	1,00	5,00	5,00	18,84	1,12	1	18,84	1,12

Tabella 13.24: Calcolo embodied energy del materiale e dei consumi dei trasporti; Fonte: elaborazione personale;

	EE	PEI trasporti	Totale [MJ]
EE trasporti 5 km - nuovo materiale	88.704,00	525,13	89.229,13
EE trasporti 5 km - materiale di riciclo	8.870,40	525,13	9.395,53
EE trasporti 5 km - materiale di riuso	-	525,13	525,13

Tabella 13.25: Calcolo embodied energy e PEI totali; Fonte: elaborazione personale;

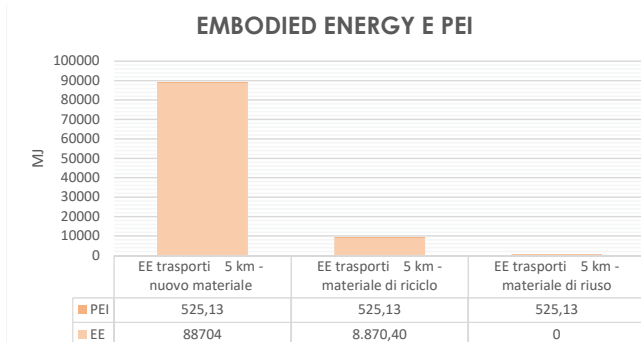


Grafico 13.33: Comparazione tra embodied energy di materiale nuovo, riciclato e di riuso e PEI dei trasporti; Fonte: elaborazione personale;

CONFRONTO RICICLO/RIUSO

Il valore dell'energia incorporata necessario per la produzione di materiale di riciclo è evidentemente maggiore rispetto al riuso del materiale; per questo motivo riutilizzare materiale reperito in un raggio di 5 km risulta essere migliore rispetto al riciclo di materiale reperito anch'esso in un raggio di 5 km. Il recupero è dunque vantaggioso rispetto al riciclo se eseguito in un raggio massimo di 90 km dal sito.

TRASPORTI	QUANTITA' (t)	Distanza (km)	Peso x distanza (tkm)	PEI (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	Numero di trasporti	PEI totale (MJ)	GWP totale (kgCO ₂ eq)
Camion carico (32t)	26,88	90,00	2.419,20	9.113,37	539,48	1	9.113,37	539,48
Camion scarico (32t)	1,00	90,00	90,00	339,04	20,07	1	339,04	20,07

	EE	PEI trasporti	Totale [MJ]
EE trasporti 5 km - materiale di riciclo	8.870,40	525,13	9.395,53
EE trasporti 90 km - materiale di riuso	-	9.452,41	9.452,41

Tabella 13.26: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;

CONFRONTO NUOVO/RIUSO

Affinché l'utilizzo di nuovo materiale (entro 5 km dal sito) risulti essere più vantaggioso rispetto al riuso, occorre che il materiale di recupero provenga da una distanza superiore agli 850 km. Al di sotto di questo raggio, il riuso è comunque più vantaggioso rispetto al nuovo.

TRASPORTI	QUANTITA' (t)	Distanza (km)	Peso x distanza (tkm)	PEI (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	Numero di trasporti	PEI totale (MJ)	GWP totale (kgCO ₂ eq)
Camion carico (32t)	26,88	850,00	22.848,00	86.070,70	5.095,10	1	86.070,70	5.095,10
Camion scarico (32t)	1,00	850,00	850,00	3.202,04	189,55	1	3.202,04	189,55

	EE	PEI trasporti	Totale [MJ]
EE trasporti 5 km - materiale nuovo	88.704,00	525,13	89.229,13
EE trasporti 850 km - materiale di riuso	-	89.272,74	89.272,74

Tabella 13.27: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED ENERGY E PEI

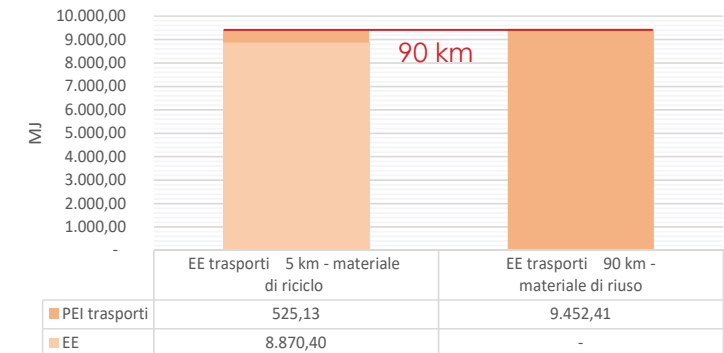


Grafico 13.34: Comparazione tra materiale riciclato prodotto a 5 km e materiale di riuso reperito a 90 km; Fonte: elaborazione personale;

EMBODIED ENERGY PEI

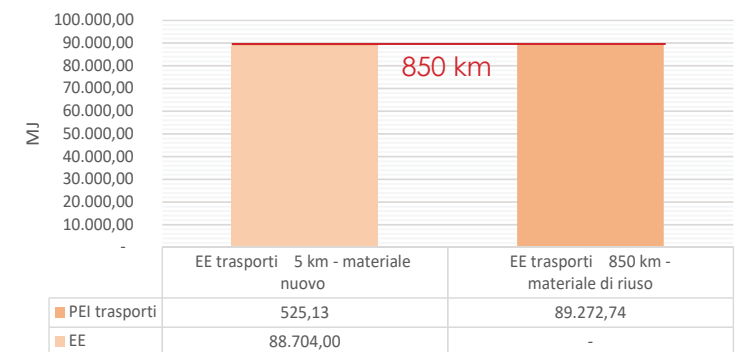


Grafico 13.35: Comparazione tra materiale nuovo prodotto a 5 km e materiale di riuso reperito a 850 km; Fonte: elaborazione personale;

CONFRONTO NUOVO/RICICLO

Infine, affinché l'utilizzo di nuovo materiale (entro 5 km dal sito) risulti essere più vantaggioso rispetto al riciclo, occorre che il materiale riciclato provenga da una distanza superiore agli 780 km. Al di sotto di questo raggio, il riciclo è comunque più vantaggioso rispetto al nuovo.

TRASPORTI	QUANTITA' (t)	Distanza (km)	Peso x distanza (tkm)	PEI (MJ)	GWP (kgCO ₂ eq)	Numero di trasporti	PEI totale (MJ)	GWP totale (kgCO ₂ eq)
Camion carico (32t)	26,88	780,00	20.966,40	78.982,53	4.675,51	1,00	78.982,53	4.675,51
Camion scarico (32t)	1,00	780,00	780,00	2.938,34	173,94	1,00	2.938,34	173,94

	EE	PEI trasporti	Totale [MJ]
EE trasporti 5 km - materiale nuovo	88.704,00	525,13	89.229,13
EE trasporti 780 km - materiale di riciclo	8.870,40	81.920,86	90.791,26

Tabella 13.28: Calcolo consumi dei trasporti e valori totali; Fonte: elaborazione personale;

13.9.2 Considerazioni conclusive

Il tema dei trasporti, spesso trascurato, rappresenta un punto chiave da tenere in considerazione sulla globalità degli impatti che derivano dal settore edile, ma non solo. In particolare, le valutazioni LCA condotte evidenziano come le scelte progettuali siano molto influenzate dagli impatti derivanti dai trasporti. Più il cantiere dell'edificio è lontano rispetto al luogo di reperimento dei materiali più gli impatti ambientali relativi ai trasporti aumentano. Per queste ragioni, risulta impossibile definire quale sia la migliore strategia da adottare in termini assoluti: in un bilancio complessivo degli impatti generati dalle diverse fasi del ciclo di vita di un materiale o di

un edificio, è più conveniente ad esempio utilizzare materiale nuovo reperito in sito piuttosto che utilizzare materiale di riciclo o di riuso reperito ad una distanza dal cantiere molto elevata. Ciò dipende molto anche dalla tipologia di trasporto, che solitamente risulta essere su gomma, ovvero tramite camion, il quale, viste le dimensioni ridotte, necessita di più viaggi per il trasporto del materiale sul luogo di costruzione; inoltre gli impatti relativi al trasporto su camion sono molto più elevati rispetto al trasporto via treno o su chiatte. Se si ipotizzasse che nel caso studio in questione il trasporto di materiale fosse avvenuto su rotaia, a parità di chilometri, gli impatti relativi al trasporto via treno sarebbero decisamente inferiori rispetto al trasporto su gomma.

EMBODIED ENERGY E PEI

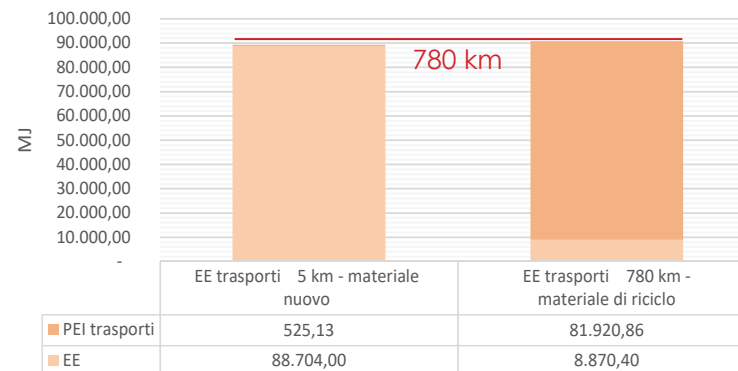


Grafico 13.36: Comparazione tra materiale nuovo prodotto a 5 km e materiale di riciclo prodotto a 780 km; Fonte: elaborazione personale;

TRASPORTO SU CAMION E SU ROTAIA

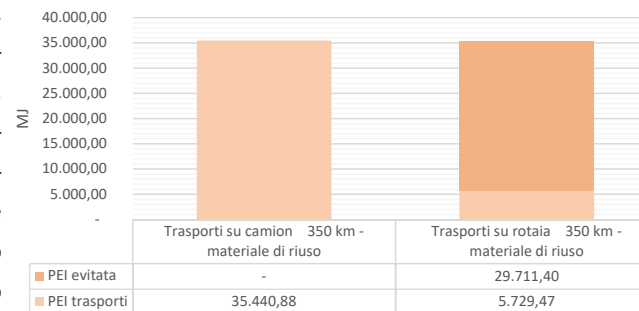


Grafico 13.37: Comparazione trasporto su camion e su rotaia; Fonte: elaborazione personale;

13.10 Conclusioni

Al termine di questo importante capitolo, è necessario riassumere il quadro emerso fino a questo momento in relazione all'efficacia o meno degli scenari d'intervento e dei principi progettuali nei confronti dell'economia circolare in edilizia.

In primo luogo è evidente notare che, nonostante esistano casi studio che adottano metodologie d'intervento in ottica circolare, l'effettivo risparmio in termini di materie prime, energia e rifiuti dipende molto dalla quantità di materiali e componenti dell'edificio riutilizzati o riciclati rispetto al totale. Ciò è emerso proprio dalle analisi LCA svolte sui casi studio Ty Pren e Villa Welpeloo: entrambi gli edifici hanno adottato materiali di riuso o di riciclo, o addirittura entrambi, ma il risparmio generato dall'utilizzo di materiali di riuso e/o recupero è dipeso dalla quantità di materiale impiegato: nel caso studio Ty Pren, l'unico materiale riciclato è quello del rivestimento esterno in ardesia e il vantaggio rispetto agli impatti totali risulta irrisorio (0,14% sul totale degli impatti generati); invece nel caso studio Villa Welpeloo, nel quale sono stati impiegati diversi materiali sia di recupero che di riciclo, il vantaggio risulta essere influente rispetto agli impatti totali (45% sul totale).

In secondo luogo è emerso con ancor più chiarezza che la realizzazione di un edificio in ottica circolare è strettamente correlata alle scelte sviluppate in fase progettuale. Progettare edifici disassemblabili, a strati, con componenti prefabbricate reperibili il più possibile localmente o scegliere materiali che siano riciclati/riusati e riciclabili/riusabili a fine vita utile, sono tutte scelte progettuali che consentono di realizzare un edificio in tutto e per tutto circolare, in grado di adattarsi ai cambiamenti, di essere disassemblato e riassembleto in base alle necessità, i cui materiali siano tutti recuperabili a fine vita, così da limitare il più possibile il consumo di ulteriore energia, materie prime e di produrre il minor numero di scarti e rifiuti edili. Molto spesso ciò comporta, per i progettisti, l'obbligo di pensare gli edifici per più cicli di vita, confrontandosi a volte con scelte progettuali che risultano vantaggiose solo a partire dal secondo ciclo di vita dell'edificio, ma che permettono, se adottate, un notevole risparmio di materiale vergine e di produzione di rifiuti.

Infine risulta evidente notare come le valutazioni e le analisi LCA svolte siano uno strumento chiave per la verifica e la quantificazione degli impatti totali generati dalle attività edilizie: solo in questo modo è possibile analizzare le differenti fasi del ciclo di vita di un materiale o di un manufatto edilizio e comprendere quali di esse siano più o meno impattanti, orientando le scelte pro-

gettuali verso un costruire circolare. In relazione a ciò è doveroso sottolineare che ad oggi esistono ancora pochi database aggiornati relativi alle fasi di costruzione, utilizzo e fine vita dell'edificio. Le analisi LCA condotte all'interno di questo capitolo sono infatti riferite alla fase di produzione dei materiali e dei componenti, la quale comprende il reperimento delle materie prime, il trasporto al sito di lavorazione e la produzione. Gli impatti relativi ad esempio alla costruzione dell'edificio, agli interventi di manutenzione e riparazione, al riuso o al disassemblaggio rimangono ancora di difficile quantificazione. Per queste ragioni, l'implementazione delle informazioni e dei dati relativi anche a queste fasi del ciclo di vita di un edificio consentirebbe di ottenere analisi LCA più complete e aggiornate nei confronti della tematica circolare.

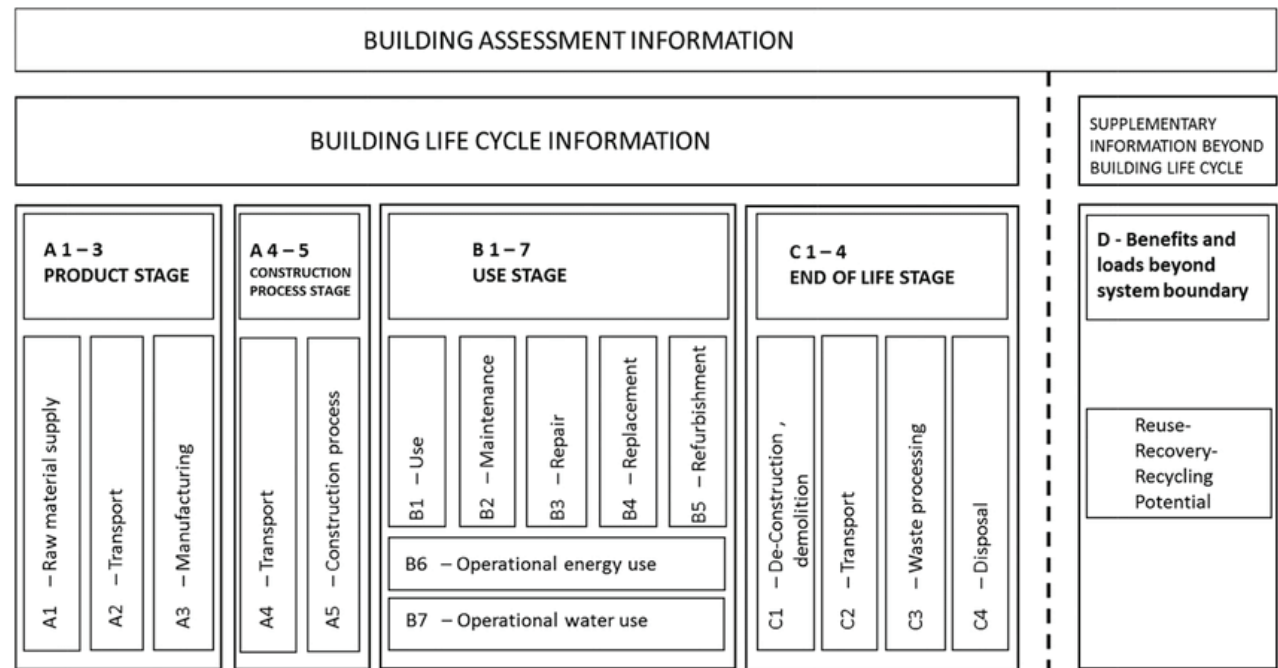


Tabella 13.29: Cicli di vita dell'edificio;
Fonte: Norma UNI 15084;

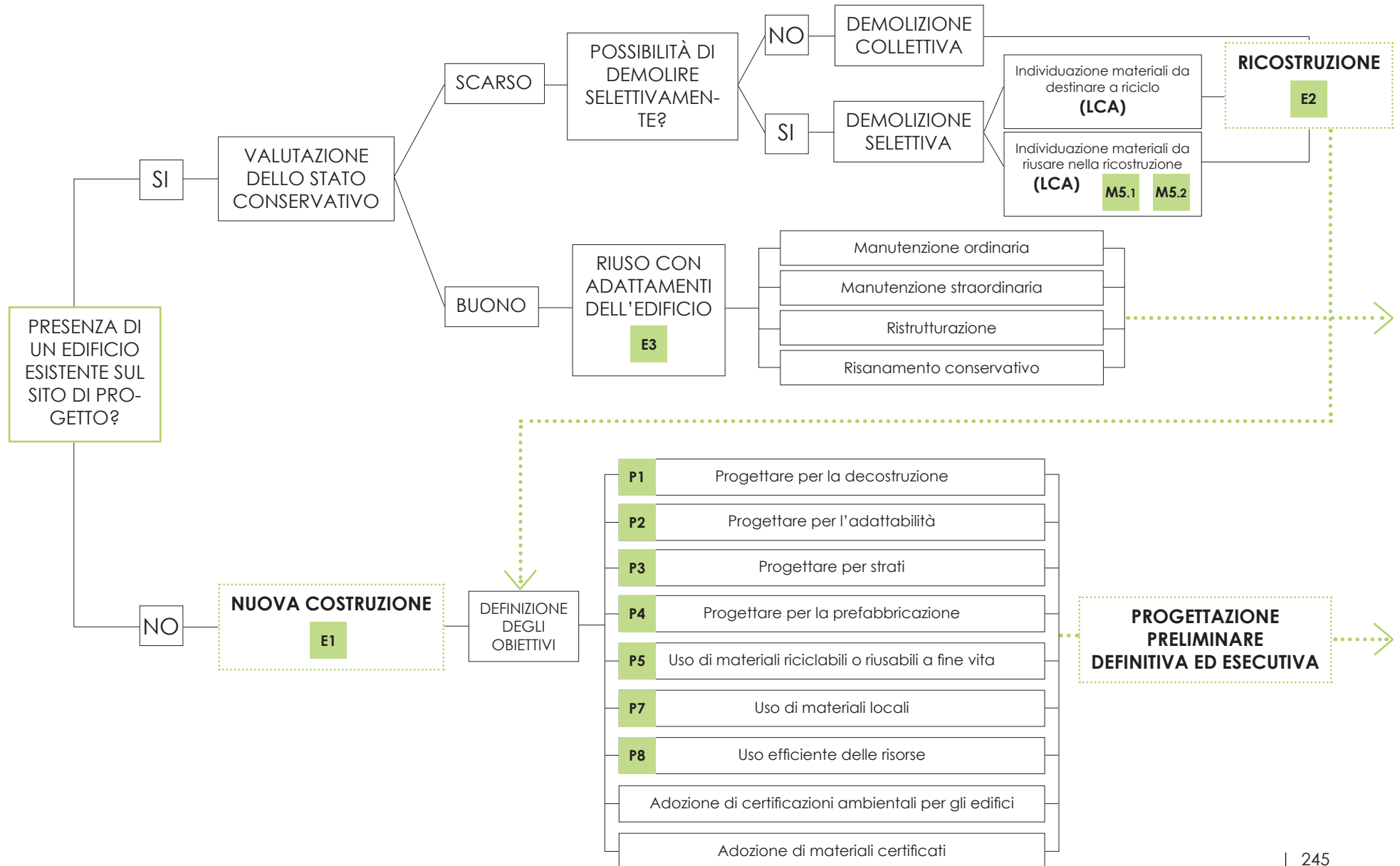
14

LINEE GUIDA PER UNA PROGETTAZIONE IN OTTICA CIRCOLARE

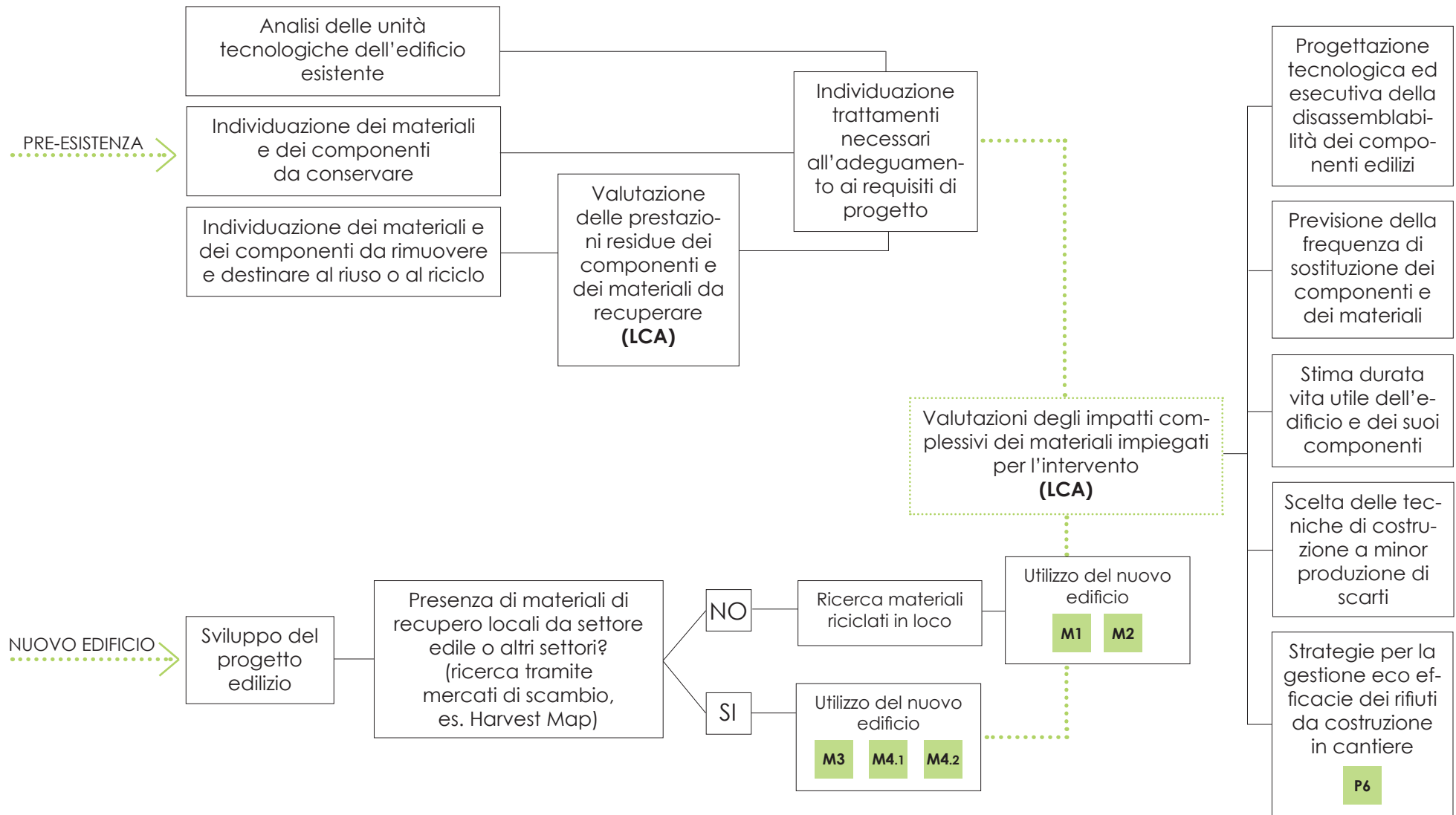
Come capitolo conclusivo dell'elaborato di tesi, è risultato interessante cercare di riassumere e mettere a sistema tutte le informazioni emerse dalle precedenti parti del lavoro svolto, così da delineare un quadro più efficace in relazione alle scelte da assumere nei confronti dell'organismo edilizio pensato in ottica circolare. La struttura delle linee guida esposte in seguito segue le fasi del processo edilizio, partendo dalle analisi preliminari di programmazione degli interventi, alle differenti fasi di progettazione, fino ad arrivare alle fasi di gestione e fine vita dell'edificio: si cerca dunque di definire degli step decisionali che consentono di guidare nella progettazione, realizzazione e gestione dell'edificio. Anche in questo caso le linee guida per una progettazione in ottica circolare vengono affrontate prima alla scala dell'edificio nel suo complesso per poi concentrarsi sulle scelte più puntuali relative alla scala del materiale e del componente edilizio. Inoltre, tali linee guida, sono rivolte non solo ai progettisti e ai tecnici del settore, i quali sono più concentrati nelle fasi di progettazione, ma anche soprattutto alla committenza, intesa come figura decisionale più influente nelle scelte preliminari, alle imprese addette alla realizzazione del

manufatto, e infine agli appaltatori del settore pubblico. Queste semplici linee guida hanno quindi lo scopo di indirizzare ed educare la committenza e gli operatori del settore edilizio verso una progettazione circolare, attenta al contenimento dei consumi di materia prima e alla produzione di ulteriori quantità di rifiuti da costruzione e demolizione.

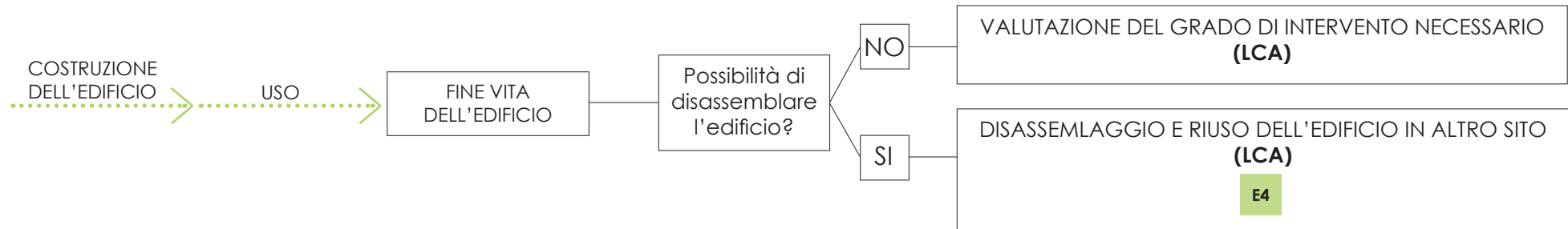
FASE 1 - PROCESSO DECISIONALE



FASE 2 - PROCESSO ESECUTIVO



FASE 3 - PROCESSO GESTIONALE



In conclusione è necessario sottolineare che la stesura di queste linee guida è emersa, in primis, a seguito dell'analisi dei casi studio individuati nella seconda parte dell'elaborato di tesi e, in secundis, grazie alla descrizione del "processo edilizio" dichiarato dalla normativa UNI 10838:1999. Tale normativa distingue le fasi edilizie in tre differenti momenti:

- il processo decisionale, inteso come insieme strutturato delle fasi processuali che precedono la realizzazione dell'intervento e ne definiscono gli obiettivi, lo sviluppo metaprogettuale, lo sviluppo progettuale e la programmazione;
- il processo esecutivo, inteso come insieme

strutturato delle fasi operative che conducono alla realizzazione dell'intervento edilizio sulla base di quanto definito nelle fasi di progettazione e di programmazione;

- il processo gestionale, inteso come insieme strutturato delle fasi operative che, a partire dall'entrata in servizio dell'organismo edilizio, si susseguono, allo scopo di assicurarne il funzionamento, fino all'esaurimento del suo ciclo funzionale ed economico di vita.

La finalità dunque delle linee guida individuate è quella di fornire delle indicazioni volte allo sviluppo di una progettazione circolare e alla messa in atto di un processo edilizio innovativo

e complesso, in cui le differenti figure coinvolte all'interno dell'intero iter decisionale, esecutivo e di gestione interagiscono tra di loro. Come è evidente tutte le scelte concepite nelle varie fasi sono fondamentali per la realizzazione di un edificio che a fine vita utile può essere riutilizzato oppure decostruito e i suoi materiali recuperati o riciclati. Monitorando dunque tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, grazie anche al contributo di valutazioni LCA, è possibile ottenere significativi risultati in termini di riduzione dell'energia incorporata dell'edificio riutilizzato o nuovo, e di riduzione nella produzione di rifiuti da demolizione e costruzione. Nella fase decisionale risulta rilevante lo svolgimento di una valutazione LCA soprattutto in relazione alla gestione

sostenibile dei rifiuti, nel caso di demolizione selettiva dell'edificio preesistente; nel processo esecutivo, è necessaria una valutazione LCA nella fase di valutazione delle prestazioni residue dei componenti e dei materiali da recuperare e nella fase esecutiva di adeguamento dell'edificio esistente o di realizzazione del nuovo edificio, per quantificare gli impatti complessivi dei materiali impiegati. Infine anche al termine del ciclo di vita dell'edificio, è opportuno svolgere un'analisi LCA che aiuti ad individuare il tipo di intervento futuro da attuare. Questo breve schema aiuta dunque a mettere a sistema le varie fasi del ciclo di vita di un edificio con gli interventi possibili e quantificare, tramite delle valutazioni LCA puntuali, il grado di sostenibilità di un'azione rispetto ad un'altra.

Conclusioni

Al termine del lavoro svolto, è doveroso concludere con alcune considerazioni finali, che permettono di mettere a fuoco l'obiettivo prefissato nell'introduzione e le conclusioni a cui si è giunti. Com'è emerso all'interno della tesi, la tematica del consumo di materie prime e della produzione eccessiva di rifiuti, risulta essere negli ultimi anni una questione di rilevanza centrale, soprattutto nel settore edilizio, il quale rappresenta uno tra i campi che più impiega materie prime e più produce rifiuti e scarti. Inoltre, il patrimonio edilizio esistente inutilizzato o in abbandono rappresenta un'opportunità sprecata, in quanto ad oggi si continua comunque a preferire la costruzione di nuovi edifici piuttosto che il recupero di edifici esistenti, e ciò incrementa notevolmente la problematica del sensibile consumo di suolo vergine. Integrare dunque il pensiero circolare al settore edilizio consente di contribuire alla riduzione globale di consumo di materiale vergine e di incentivare il recupero o il riciclo di materia riducendo di molto il quantitativo di rifiuti prodotti. Com'è emerso all'interno della tesi, l'applicazione dell'economia circolare a questo settore può essere intrapresa secondo differenti modalità d'intervento e differenti scale. Riciclare materiale di scarto, riutilizzare componenti di un edificio in un altro, scegliere materiali locali e riciclabili a fine vita, progettare per la decostruzione e tramite elementi prefabbricati sono solo alcune

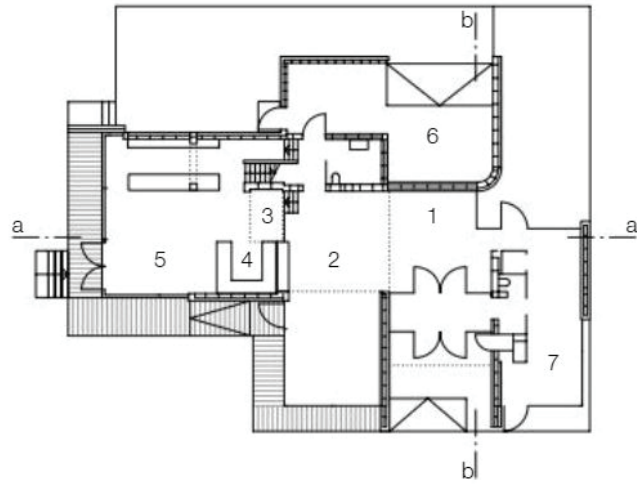
tra le strategie che consentono di realizzare un edificio in ottica circolare. Inoltre, un approccio circolare è applicabile sia alla scala del materiale e del componente edilizio, grazie alle pratiche del riciclo e del riuso, sia alla scala dell'edificio nel suo complesso, grazie al riuso e alla riconversione di fabbricati esistenti o alla realizzazione di edifici progettati per essere disassemblati e riassembleati in base alle esigenze. E' evidente dunque che gli effettivi vantaggi, in termini di impatti ambientali, derivanti dall'applicazione di strategie circolari, sono condizionati da differenti fattori tra cui la scelta della strategia d'intervento, la tipologia e il quantitativo, rispetto alla globalità, di materiale di riciclo o riutilizzo presente nell'edificio e la possibilità, a fine vita, di riutilizzare l'edificio o di recuperare e riciclare il maggior quantitativo di materiali e componenti possibili. Inoltre, grazie alle valutazioni LCA condotte nella terza parte dell'elaborato, è emerso che, molto spesso, i vantaggi derivanti dall'approccio circolare in edilizia sono poco evidenti nel breve periodo ma molto visibili nel lungo periodo, o meglio nel secondo/terzo ciclo di vita dell'edificio. Quest'ultima constatazione consente di comprendere al meglio l'ancor oggi presente difficoltà degli operatori del settore edilizio ad approcciarsi alla tematica circolare: trattandosi di vantaggi riscontrabili solo nel futuro e non direttamente nel presente, i progettisti prediligono scelte di tipo tradizionale, basate su un'economia lineare, le quali spesso consentono di ridurre

i costi di costruzione dell'edificio. In conclusione, ciò che è emerso maggiormente dall'elaborato di tesi, è la necessità di un approccio differente alla tematica edilizia, più consapevole nei confronti del nostro Pianeta e delle risorse che ci dona quotidianamente; tale cambiamento, è già in atto, ma i passi avanti da compiere sono ancora molteplici. L'Unione europea in primis, ma anche l'Italia stessa, stanno contribuendo, non solo nel settore edilizio ma anche in tutti gli altri settori, alla diffusione del pensiero circolare. Per questi motivi la tematica dell'economia circolare in edilizia è in continua evoluzione ed espansione e il cambiamento nel modo di concepire gli edifici avverrà solamente quando gli operatori del settore e l'intera società comprenderanno l'importanza di un approccio circolare volto ad una gestione efficace delle materie prime e alla riduzione della produzione di rifiuti.

Appendice

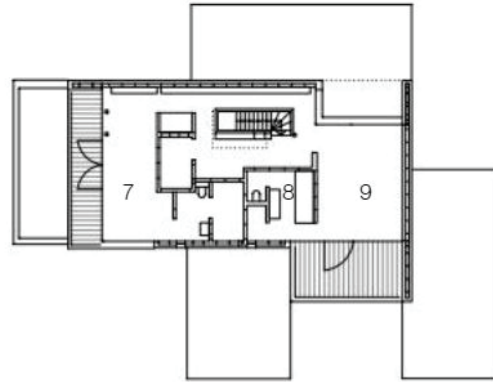
CASO STUDIO

VILLA WELPELOO



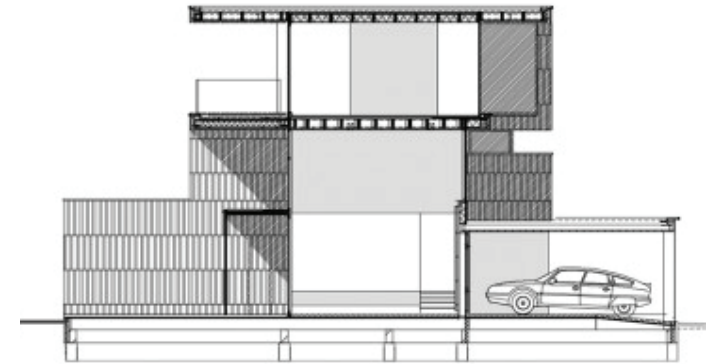
Pianta piano terra

0 2 4 m



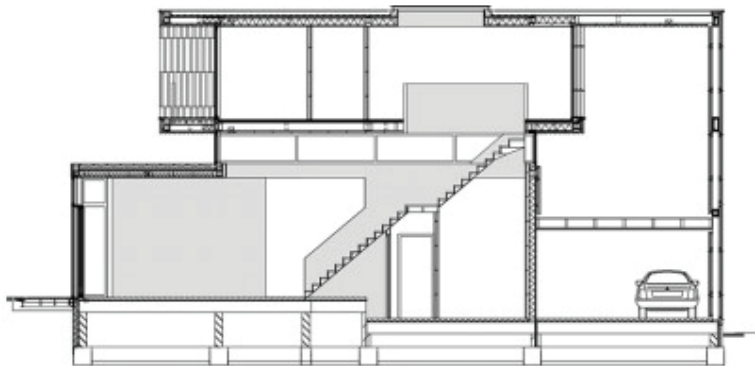
Pianta piano primo

0 2 4 m



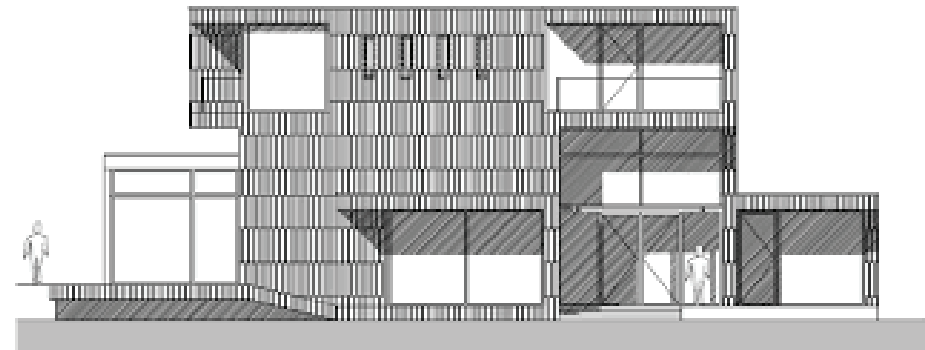
Sezione trasversale

0 1 2 m



Sezione longitudinale

0 1 2 m

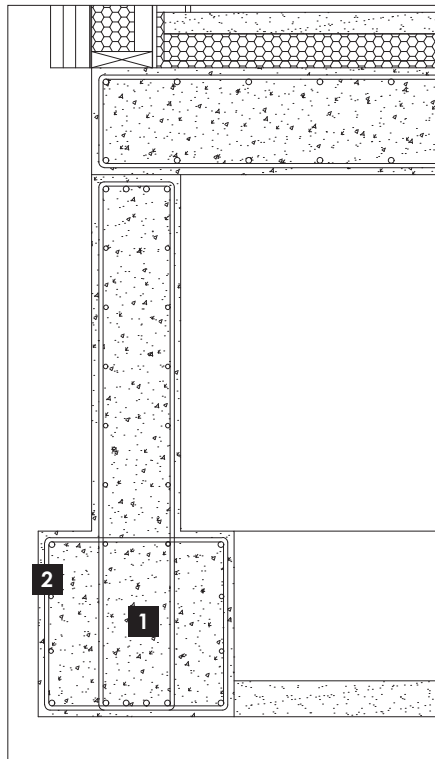


Prospetto principale

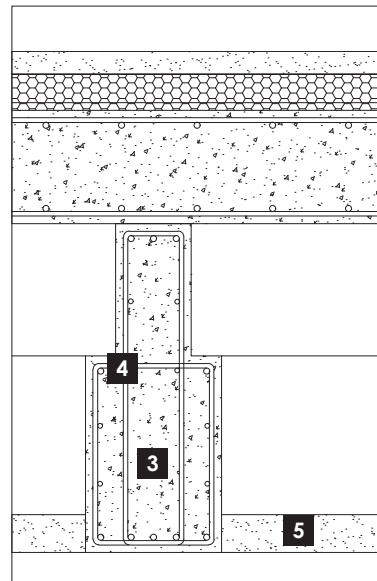
0 1 2 m

STRUTTURA DI FONDAZIONE DIRETTA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Travi di fondazione in ca tipo 1	22,90	2400	54960	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	41220,00	5880,72
2_Armatura in acciaio	0,35	7500	2658	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	94093,20	7681,62
3_Travi di fondazione in ca tipo 2	27,75	2400	66600	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	49950,00	7126,20
4_Armatura in acciaio	0,48	7500	3570	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	126378,00	10317,30
5_Magrone	25,30	1800	45540	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	34155,00	4872,78
Totale								345796,20	35878,62



Attacco a terra, scala 1:20



Attacco a terra, scala 1:20

1_Trave di fondazione in ca tipo 1:

Area: 0,50 m²

Lunghezza totale: 45,8 m

2_Armatura in acciaio:

Barre in acciaio: 12 Ø18 e 16 Ø12

Staffe in acciaio: Ø12

3_Trave di fondazione in ca tipo 2:

Area: 0,25 m²

Lunghezza totale: 111 m

4_Armatura in acciaio:

Barre in acciaio: 10 Ø18 e 8 Ø12

Staffe in acciaio: Ø12

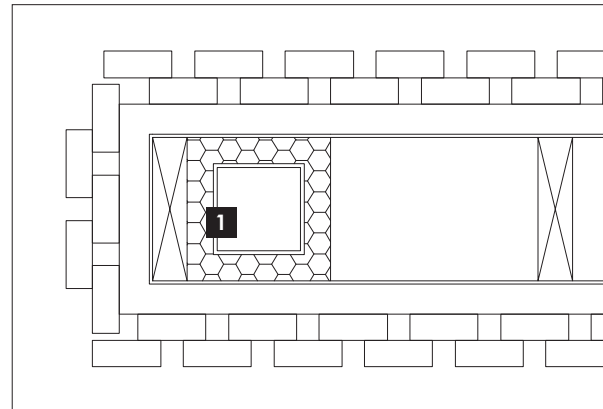
4_Magrone:

Spessore: 0,10 m

Superficie: 253 m²

STRUTTURA DI ELEVAZIONE VERTICALE

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Pilastro in acciaio scatolato 120 mm	0,35	7500	2625	0	0			0,00	0,00
Totale								0,00	0,00



Sezione orizzontale, scala 1:10

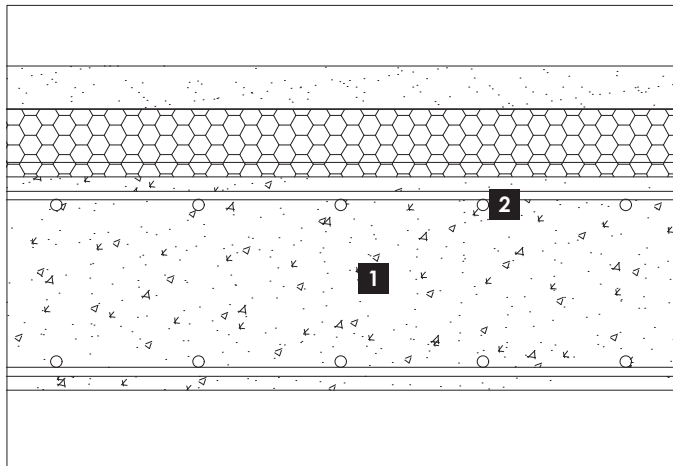
1_Pilastro in acciaio:

Dimensioni: 0,12 x 0,12 m

Spessore: 0,005 m

STRUTTURA DI ELEVAZIONE ORIZZONTALE

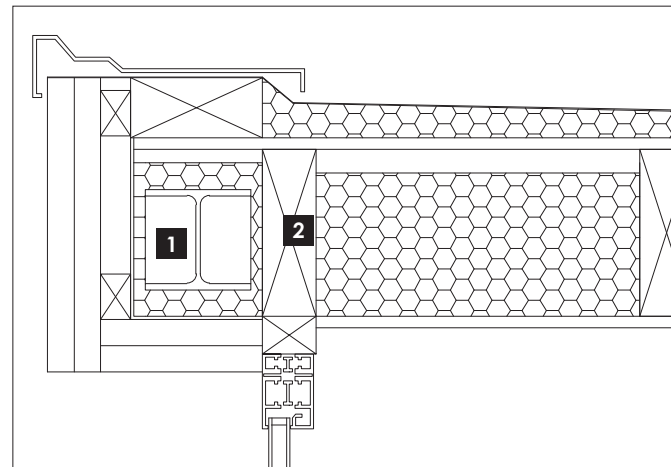
STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO _{2e} /kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO _{2e})
1_Soletta in ca	75,90	2400	182160	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	136620,00	19491,12
2_Armatura in acciaio	1,01	7500	7590	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	268686,00	21935,10
3_Travi principali in acciaio HEA 140	1,28	7500	9600	0	0			0,00	0,00
4_Travi secondarie in legno	12,85	750	9637,5	0	0			0,00	0,00
Totale								405306,00	41426,22



Stratigrafia solaio contro terra, scala 1:10

1_Soletta in ca:
 Spessore: 0,30 m
 Superficie: 253 m²

2_Armatura in acciaio:
 Barre in acciaio: Ø18
 Staffe in acciaio: Ø12



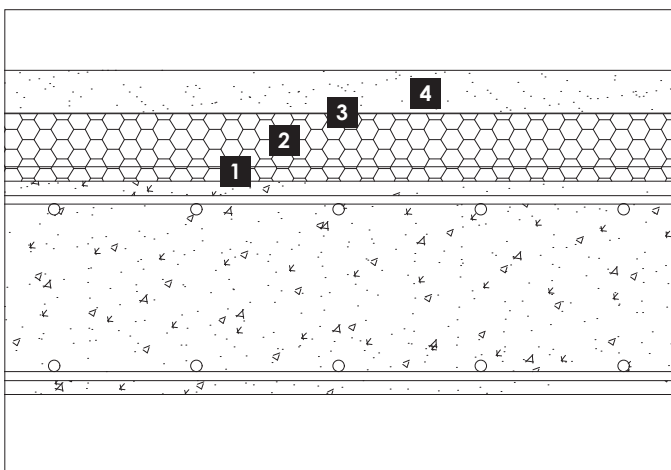
Nodo copertura, scala 1:10

1_Trave in acciaio:
 Profilo: HEA 140
 Lunghezza tot: 408,2 m

1_Travi secondarie in legno:
 Area: 0,016 m²
 Lunghezza tot: 409,5 m

SOLAIO A TERRA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Isolante in EPS	4,20	30	126	88,6	3,29	Plastics_expanded_polystyrene	ICE 2011	11163,60	414,54
2_Isolante in EPS	15,75	30	472,5	0	0			0,00	0,00
3_BARRIERA al vapore	0,21	615	129,15	51	0,5	Bitumen_general	ICE 2011	6586,65	64,58
4_Massetto in cls alleggerito e finitura	12,60	1800	22680	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	17010,00	2426,76
Totale								34760,25	2905,88



Stratigrafia solaio contro terra, scala 1:10

1_Isolante in EPS:

Spessore: 0,02 m
Superficie: 210 m²

2_Isolante in EPS:

Spessore: 0,075 m
Superficie: 210 m²

3_BARRIERA al vapore:

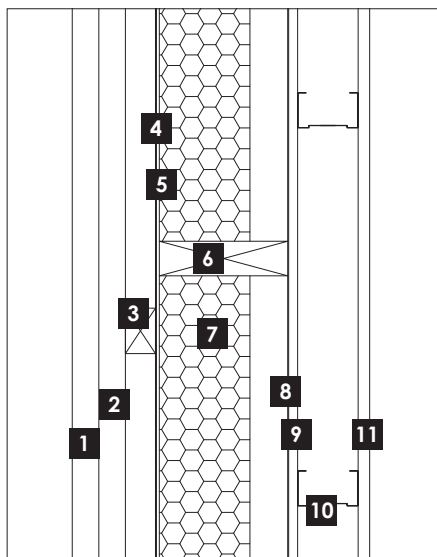
Spessore: 0,001 m
Superficie: 210 m²

4_Massetto in cls alleggerito e finitura levigata:

Spessore: 0,06 m
Superficie: 210 m²

PARETI PERIMETRALI VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Rivestimento esterno in legno	9,49	750	7113,75	0	0			0,00	0,00
2_Rivestimento esterno in legno	9,49	750	7113,75	0	0			0,00	0,00
3_Listelli in legno orizzontali	1,30	750	975,60	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	9756,00	702,43
4_BARRIERA al vento	0,27	940	254,74	51	0,5	Bitumen_general	ICE 2011	12991,74	127,37
5_Pannello in fibrocemento	1,08	1450	1571,80	10,4	0	Cement_fibre cement panels	ICE 2011	16346,72	0,00
6_Montante in legno	3,74	750	2803,47	0	0			0,00	0,00
7_Isolante in EPS	19,92	30	597,60	0	0			0,00	0,00
8_BARRIERA al vapore	0,17	940	156,04	51	0,5	Bitumen_general	ICE 2011	7958,04	78,02
9_Pannello in legno multistrato	1,99	750	1494	15	1,1	Plywood	ICE 2011	22410,00	1643,40
10_Traversi in alluminio a C	0,03	2700	89,64	218	12,79	Aluminium	ICE 2011	19541,52	1146,50
11_Lastra di cartongesso	2,49	760	1892,40	6,75	0,39	Plasterboard	ICE 2011	12773,70	738,04
Totale								101777,72	4435,75



Stratigrafia parete perimetrale verticale, scala 1:10

1_Rivestimento esterno in legno:

Spessore: 0,035 m
Superficie: 271 m²

2_Rivestimento esterno in legno:

Spessore: 0,035 m
Superficie: 271 m²

3_Listelli in legno orizzontali:

Dimensioni: 0,04 m x 0,06 m
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 271 m²

4_BARRIERA al vento:

Spessore: 0,001 m
Superficie: 271 m²

5_Pannello in fibrocemento:

Spessore: 0,004 m
Superficie: 271 m²

6_Montante in legno:

Dimensioni: 0,17 m x 0,046 m
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 239 m²

7_Isolante in EPS:

Spessore: 0,12 m
Superficie: 166 m²

7_BARRIERA al vapore:

Spessore: 0,001 m
Superficie: 166 m²

8_Pannello multistrato:

Spessore: 0,012 m
Superficie: 166 m²

9_Traversi in alluminio:

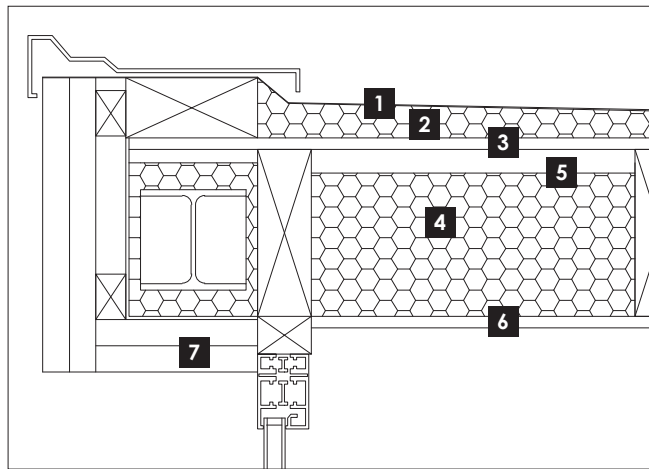
Area elemento: 0,0001 m²
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 166 m²

10_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 166 m²

COPERTURA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO ₂ e)
1_BARRIERA impermeabilizzante	0,63	615	386,22	51	0,5	Bitumen_general	ICE 2011	19697,22	193,11
2_Isolante in EPS	13,83	30	414,99	88,6	3,29	Plastics_expanded_polystyrene	ICE 2011	36768,11	1365,32
3_Tavolato in legno	3,92	750	2936,25	0	0			0,00	0,00
4_Isolante in EPS	43,32	30	1299,6	0	0		ICE 2011	0,00	0,00
5_BARRIERA al vapore	0,23	940	214,32	51	0,5	Bitumen_general	ICE 2011	10930,32	107,16
6_Lastra di cartongesso	3,42	760	2599,2	6,75	0,39	Plasterboard	ICE 2011	17544,60	1013,69
7_Rivestimento esterno in legno	1,61	750	1207,5	0	0			0,00	0,00
Totale								84940,25	2679,28



Nodo copertura, scala 1:10

1_BARRIERA impermeabilizzante:

Spessore: 0,002 m
Superficie: 314 m²

2_Isolante EPS in pendenza:

Spessore medio: 0,053m
Superficie: 261 m²

3_Tavolato in legno:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 261 m²

4_Isolante in EPS:

Spessore: 0,19 m
Superficie: 228 m²

5_BARRIERA al vapore:

Spessore: 0,001 m
Superficie: 228 m²

6_Lastra di cartongesso:

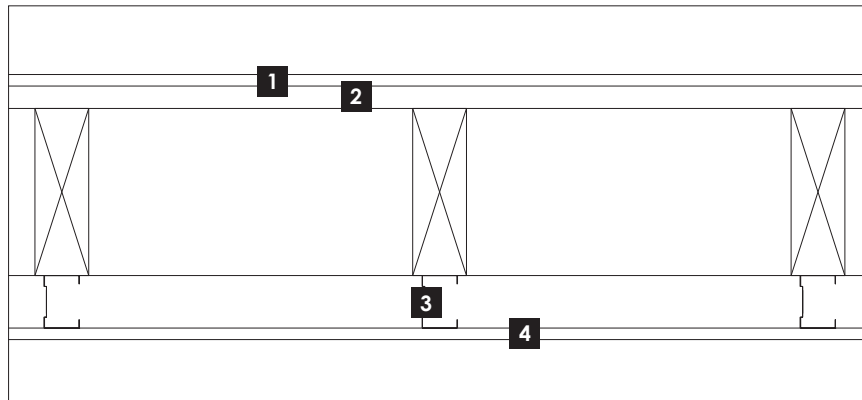
Spessore: 0,015 m
Superficie: 228 m²

7_Rivestimento esterno in legno:

Spessore: 0,035 m
Superficie: 43 m²

SOLAIO

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kg CO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kg CO2e)
1_Pavimento in legno interno	1,74	750	1305	0	0			0,00	0,00
2_Pannello in legno multistrato	3,48	750	2610	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	26100,00	1879,20
3_Profilo in alluminio a C	0,02	2700	62,64	218	12,79	Aluminium	ICE 2011	13655,52	801,17
4_Lastra di cartongesso	1,74	760	1322,4	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	8926,20	515,74
5_Pavimento e rivestimento in legno esterno	0,91	750	682,5	0	0			0,00	0,00
Totale								48681,72	3196,10



Stratigrafia solaio interpiano, scala 1:10

1_Pavimento in legno interno:

Spessore: 0,015 m

Superficie: 116 m²

2_Pannello multistrato:

Spessore medio: 0,03 m

Superficie: 116 m²

3_Profilo in alluminio a C:

Area elemento: 0,0001 m²

Numero di elementi al m²: 2

Superficie: 116 m²

4_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m

Superficie: 116 m²

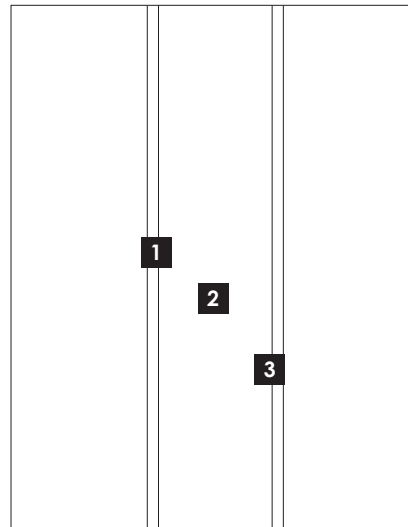
4_Pavimento e rivestimento in legno esterno:

Spessore: 0,035 m

Superficie: 26 m²

PARETI INTERNE VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Lastra in cartongesso	2,18	760	1653	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	11157,75	644,67
2_Montanti in legno	3,26	750	2446,88	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	24468,75	1761,75
3_Lastra in cartongesso	1,99	760	1510,5	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	10195,88	589,10
4_Rivestimento in smile plastic	0,25	1270	317,5	21,9	0	PET_recycled	ICE 2008	6953,25	0,00
Totale								52775,63	2995,52



Stratigrafia pareti interne verticali, scala 1:10

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m

Superficie: 145 m²

2_Montanti in legno:

Dimensioni elemento: 0,075 x 0,15 m

Numero di elementi al m²: 2

Superficie: 145 m²

3_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m

Superficie: 132,5 m²

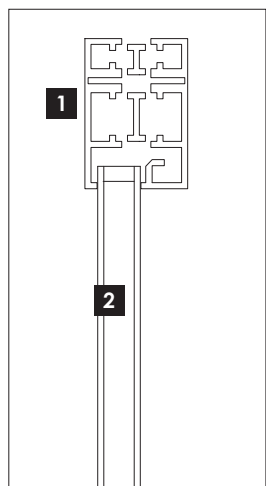
4_Rivestimento in smile plastic:

Spessore: 0,02 m

Superficie: 12,5 m²

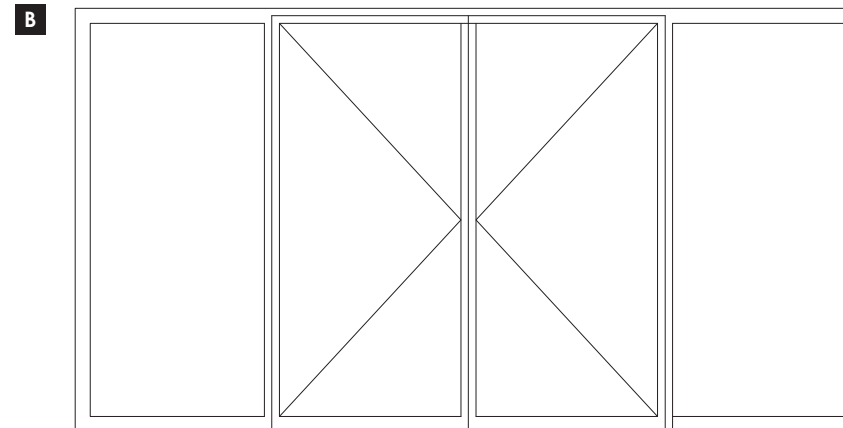
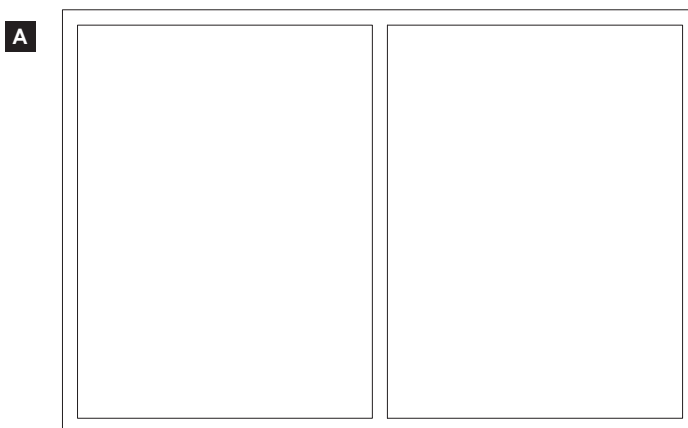
INFISSI ESTERNI VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
TIPO A - Dimensioni: 4,20 x 2,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	283,80	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	10046,52	820,18
2_Vetro	0,09	2500	214,00	0	0			0,00	0,00
Totale								10046,52	820,18
TIPO B - Dimensioni: 5,20 x 2,80 m - Numero di elementi: 2									
1_Acciaio	0,05	7500	405,00	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	14337,00	1170,45
2_Vetro	0,10	2500	245,00	0	0			0,00	0,00
Totale								28674,00	2340,90



1_Acciaio:
Area: 0,0022 m²

2_Vetro:
Spessore lastra: 0,004 m
Numero di lastre: 2

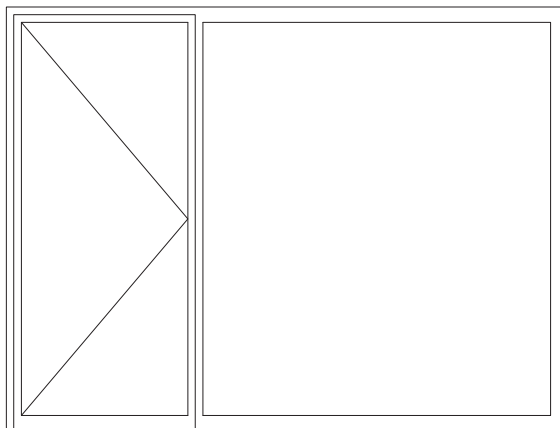


TIPO C - Dimensioni: 3,70 x 2,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	262,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	9292,50	758,63
2_Vetro	0,07	2500	177,50	0	0			0,00	0,00
Totale								9292,50	758,63

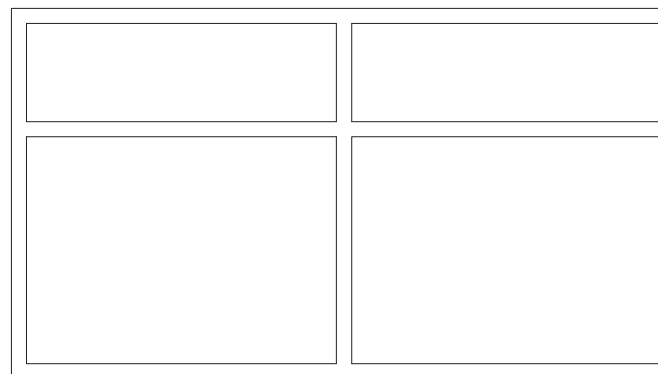
TIPO D - Dimensioni: 4,40 x 2,45 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,05	7500	337,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	11947,50	975,38
2_Vetro	0,07	2500	177,50	0	0			0,00	0,00
Totale								11947,50	975,38

TIPO E - Dimensioni: 4,40 x 2,70 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	322,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	11416,50	932,03
2_Vetro	0,07	2500	177,50	0	0			0,00	0,00
Totale								11416,50	932,03

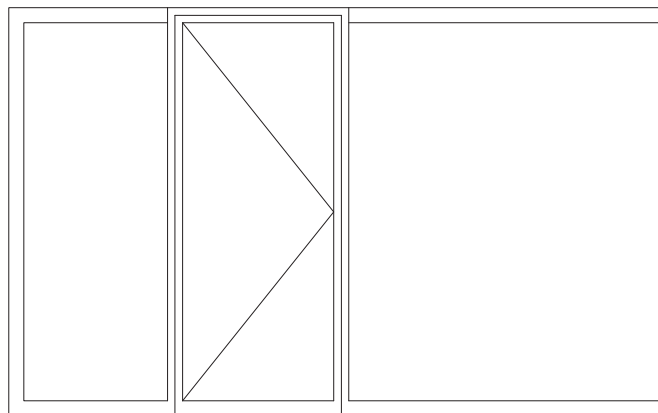
C



D



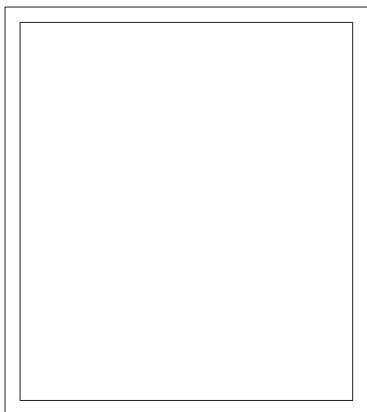
E



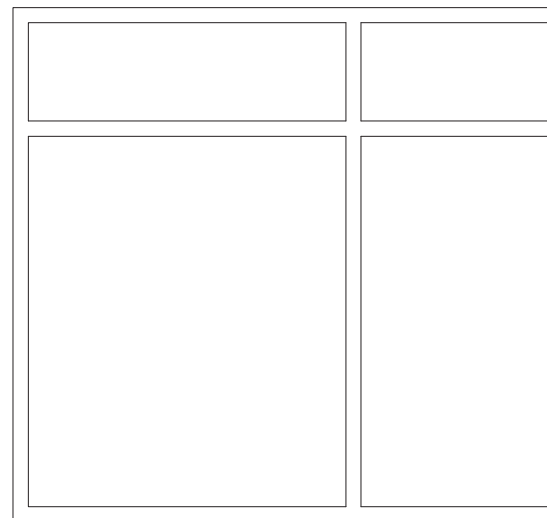
TIPO F - Dimensioni: 2,40 x 2,70 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,02	7500	165,00	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	5841,00	476,85
2_Vetro	0,04	2500	110,00	0	0			0,00	0,00
Totale								5841,00	476,85

TIPO G - Dimensioni: 3,65 x 3,40 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,05	7500	352,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	12478,50	1018,73
2_Vetro	0,08	2500	207,50	0	0			0,00	0,00
Totale								12478,50	1018,73

F

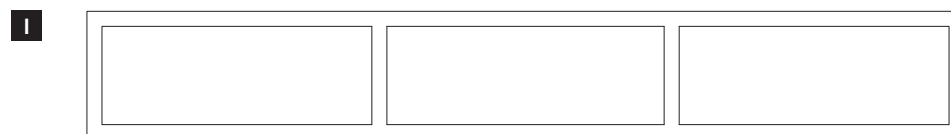
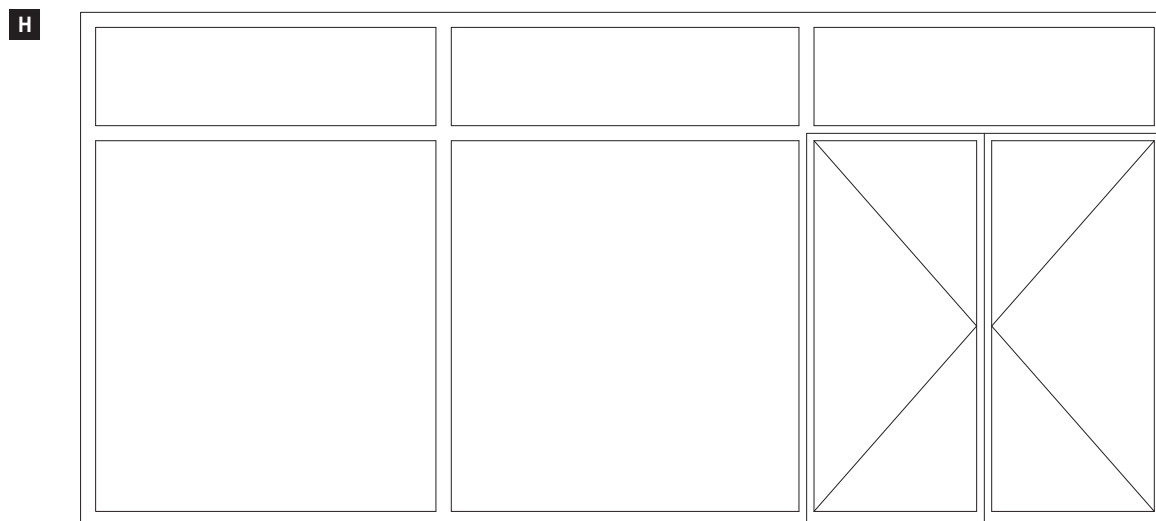


G



TIPO H - Dimensioni: 7,20 x 3,40 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,08	7500	607,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	21505,50	1755,68
2_Vetro	0,17	2500	417,50	0	0			0,00	0,00
Totale								21505,50	1755,68

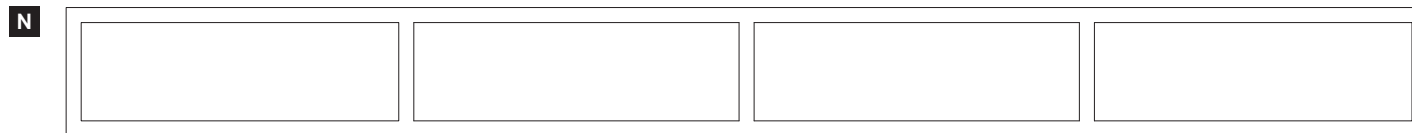
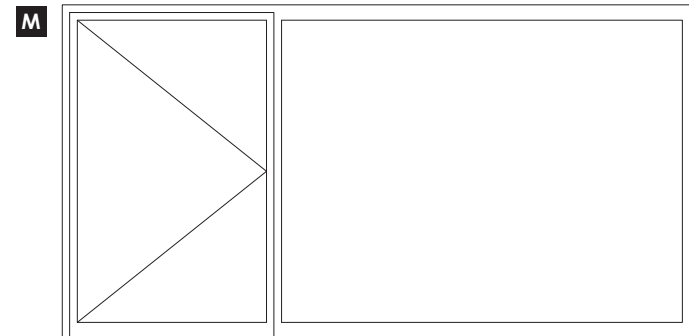
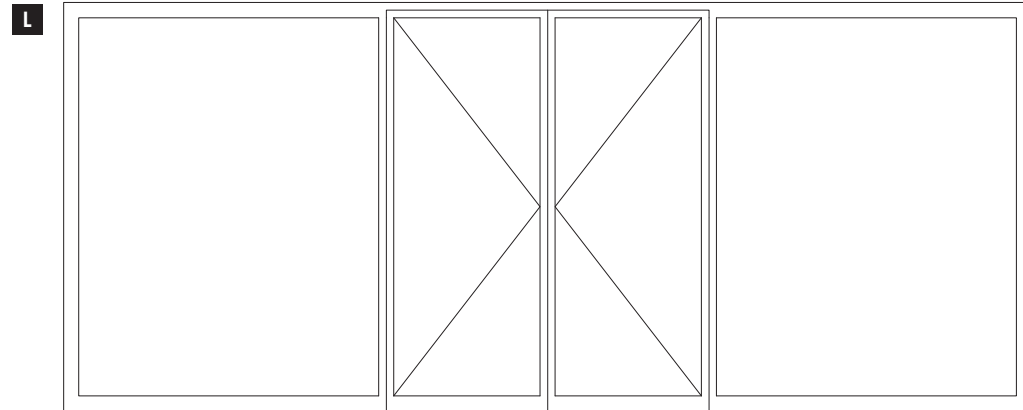
TIPO I - Dimensioni: 5,80 x 0,85 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,03	7500	247,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	8761,50	715,28
2_Vetro	0,03	2500	70,00	0	0			0,00	0,00
Totale								8761,50	715,28



TIPO L - Dimensioni: 6,40 x 2,70 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,06	7500	435,00	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	15399,00	1257,15
2_Vetro	0,12	2500	295,00	0	0			0,00	0,00
Totale								15399,00	1257,15

TIPO M - Dimensioni: 4,20 x 2,20 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,03	7500	247,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	8761,50	715,28
2_Vetro	0,06	2500	155,00	0	0			0,00	0,00
Totale								8761,50	715,28

TIPO N - Dimensioni: 9,00 x 0,85 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,05	7500	367,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	13009,50	1062,08
2_Vetro	0,04	2500	110,00	0	0			0,00	0,00
Totale								13009,50	1062,08

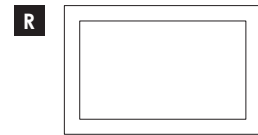
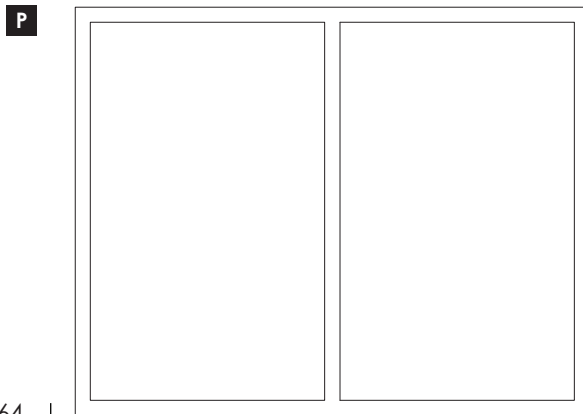
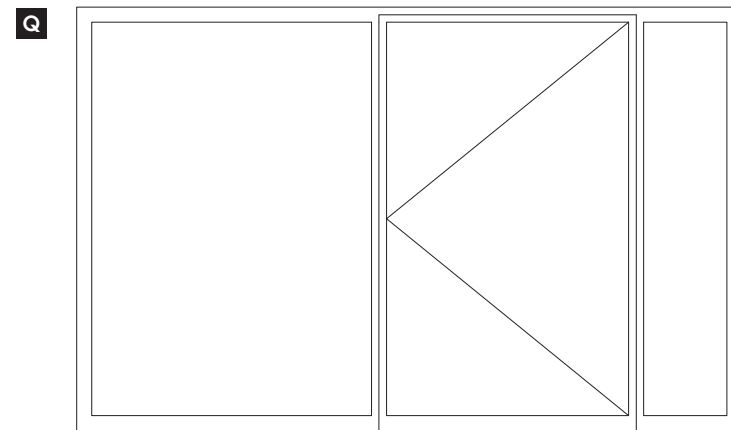


TIPO O - Dimensioni: 5,00 x 2,00 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	262,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	9292,50	758,63
2_Vetro	0,07	2500	170,00	0	0			0,00	0,00
Totale								9292,50	758,63

TIPO P - Dimensioni: 3,40 x 2,70 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,03	7500	247,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	8761,50	715,28
2_Vetro	0,06	2500	155,00	0	0			0,00	0,00
Totale								8761,50	715,28

TIPO Q - Dimensioni: 4,40 x 2,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	285,00	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	10089,00	823,65
2_Vetro	0,09	2500	212,50	0	0			0,00	0,00
Totale								10089,00	823,65

TIPO R - Dimensioni: 1,30 x 0,85 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,01	7500	67,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	2389,50	195,08
2_Vetro	0,01	2500	15,00	0	0			0,00	0,00
Totale								2389,50	195,08

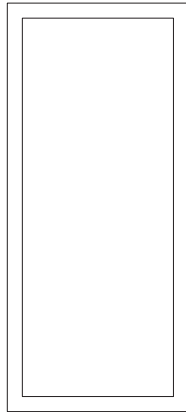


TIPO S - Dimensioni: 1,20 x 2,70 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,02	7500	127,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	4513,50	368,48
2_Vetro	0,02	2500	50,00	0	0			0,00	0,00
Totale								4513,50	368,48

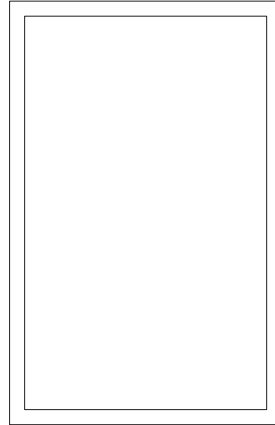
TIPO T - Dimensioni: 1,80 x 2,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,02	7500	150,00	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	5310,00	433,50
2_Vetro	0,03	2500	82,50	0	0			0,00	0,00
Totale								5310,00	433,50

TIPO U - Dimensioni: 4,10 x 2,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,04	7500	277,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	9823,50	801,98
2_Vetro	0,08	2500	197,50	0	0			0,00	0,00
Totale								9823,50	801,98

S



T



U

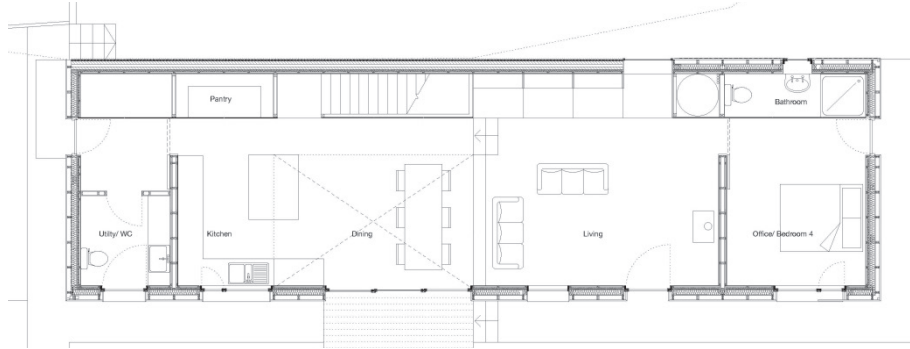


INFISSI ORIZZONTALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
TIPO V - Dimensioni: 2,50 x 1,80 m - Numero di elementi: 1									
1_Acciaio	0,02	7500	142,50	35,40	2,89	Steel_general	ICE 2011	5044,50	411,83
2_Vetro	0,03	2500	72,50	0	0			0,00	0,00
Totale								5044,50	411,83

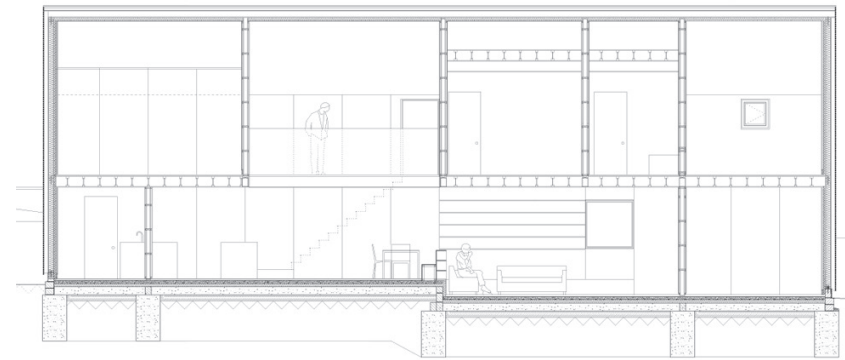


CASO STUDIO
TY PREN



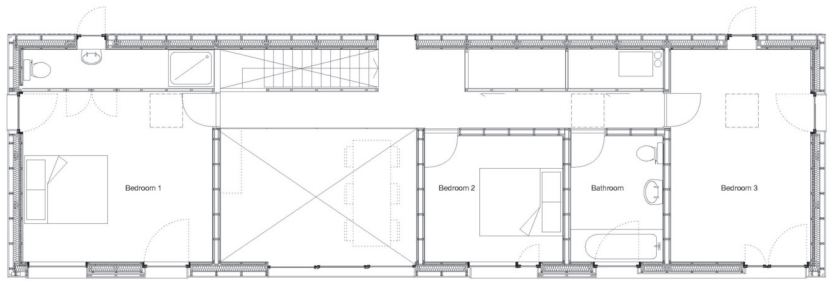
Pianta piano terra

0 1 2 m



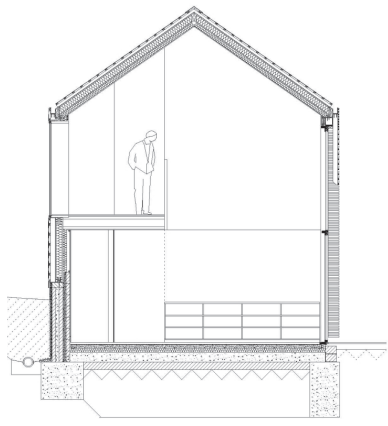
Sezione longitudinale

0 1 2 m



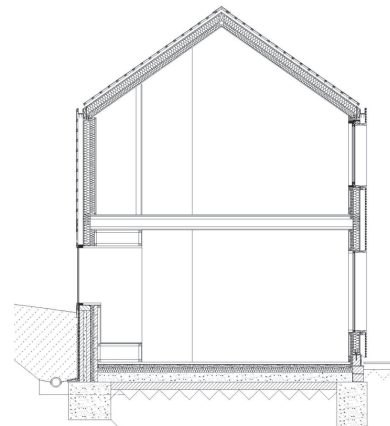
Pianta piano primo

0 1 2 m



Sezione trasversale

0 1 2 m



Sezione trasversale

0 1 2 m

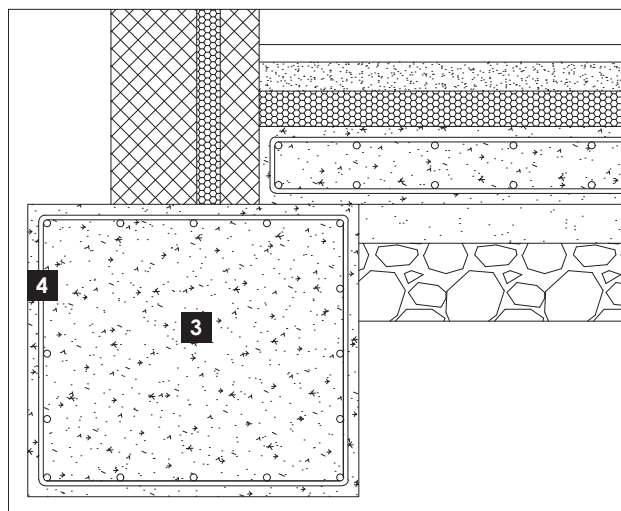


Prospetto sud

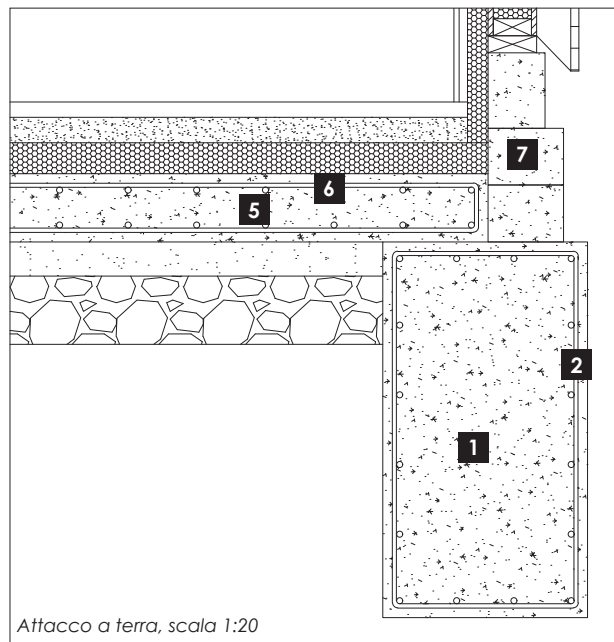
0 1 2 m

STRUTTURA DI FONDAZIONE DIRETTA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Travi di fondazione in ca tipo 1	30,62	2400	73488	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	55116,00	7863,22
2_Armatura in acciaio	0,26	7500	1957,5	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	69295,50	5657,18
3_Travi di fondazione in ca tipo 2	12,35	2400	29640	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	22230,00	3171,48
4_Armatura in acciaio	0,11	7500	795	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	28143,00	2297,55
5_Blocchi in cls	3,1	1800	5580	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	4185,00	597,06
Totale								178969,50	19586,48



Attacco a terra, scala 1:20



Attacco a terra, scala 1:20

1_Travi di fondazione in ca tipo 1

Area: 0,67 m²

Lunghezza totale: 46 m

2_Armatura in acciaio

Barre in acciaio: 12 Ø18

Staffe in acciaio: Ø12

3_Travi di fondazione in ca tipo 2

Area: 0,65 m²

Lunghezza totale: 19 m

4_Armatura in acciaio

Barre in acciaio: 10 Ø18

Staffe in acciaio: Ø12

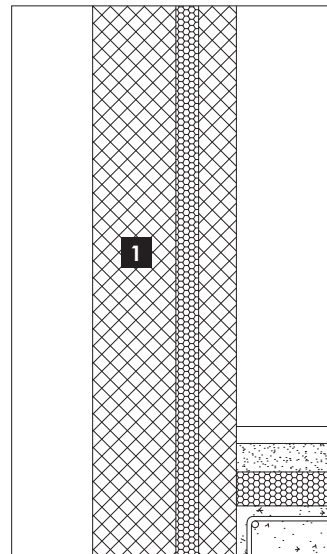
7_Blocchi in cls

Area totale: 0,21 m²

Lunghezza totale: 46 m²

STRUTTURA DI CONTENIMENTO VERTICALE

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Muro controterra in cls	6,43	2400	15432,00	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	11574,00	1651,22
Totale								11574,00	1651,22



Stratigrafia muro controterra, scala 1:20

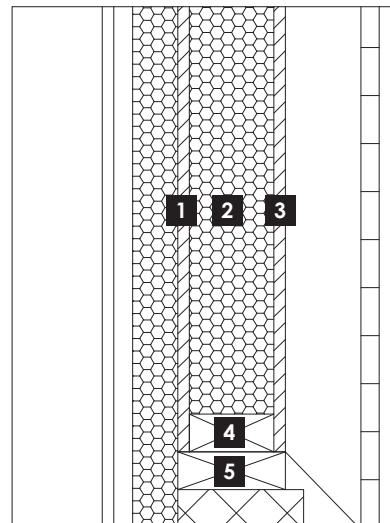
1_Muro controterra in cls

Spessore totale: 0,30 m

Superficie: 21 m²

STRUTTURA DI ELEVAZIONE VERTICALE

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_SIP - OSB	2,64	630	1663,20	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	24948,00	1646,57
2_SIP - Isolante	19,71	33	650,43	101,5	4,26	Insulation_Polyutherane ri	ICE 2011	66018,65	2770,83
3_SIP- OSB	2,64	630	1663,20	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	24948,00	1646,57
4_SIP - Traversi	2,18	750	1635,00	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	16350,00	1177,20
5_Traversi	1,30	750	975,00	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	9750,00	702,00
Totale								142014,65	7943,17



Stratigrafia parete perimetrale, scala 1:10

1_SIP - OSB:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 176 m²

2_Isolante:

Spessore: 0,112 m
Superficie: 176 m²

3_SIP - OSB

Spessore: 0,015 m
Superficie: 176 m²

4_SIP - Traversi

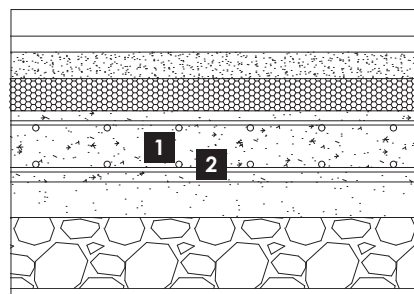
Area elemento: 0,0056 m²
Lunghezza totale: 389 m

5_Traversi

Area elemento: 0,0071 m²
Lunghezza totale: 183 m

STRUTTURA DI ELEVAZIONE ORIZZONTALE E INCLINATA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Soletta in ca	20,6	2400	49440	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	37080,00	5290,08
2_Armatura in acciaio	0,37	7500	2781	35,4	2,89	Steel_general_virgin	ICE 2011	98447,40	8037,09
3_SIP - OSB	1,34	630	844,20	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	12663,00	835,76
4_SIP - Isolante	9,97	33	329,01	101,50	4,26	Insulation_Polyutherane ri	ICE 2011	33394,52	1401,58
5_SIP - OSB	1,34	630	844,20	15	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	12663,00	835,76
6_SIP - Traversi	0,50	750	375	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	3750,00	270,00
7_Trave I-Joist (solaio)	1,49	750	1117,50	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	11175,00	804,60
8_Trave I-Joist (passerella)	0,13	750	97,50	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	975,00	70,20
Totale								210147,92	17545,07



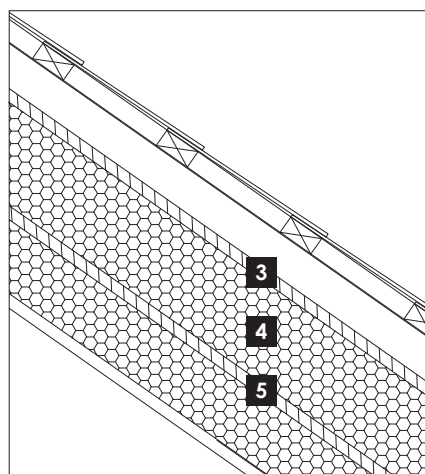
Stratigrafia solaio controterra, scala 1:10

1_Soletta in ca

Spessore: 0,20 m
Superficie: 103 m²

2_Armatura in acciaio

Barre in acciaio: Ø18
Staffe in acciaio: Ø12



Stratigrafia copertura, scala 1:10

3_SIP - OSB:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 89 m²

4_SIP - Isolante:

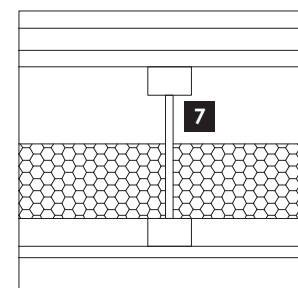
Spessore: 0,112 m
Superficie: 89 m²

5_SIP - OSB

Spessore: 0,015 m
Superficie: 89 m²

6_SIP - Traversi

Area elemento: 0,0056 m²
Lunghezza totale: 93 m



Stratigrafia solaio interpiano, scala 1:10

7_Trave I-Joist (solaio):

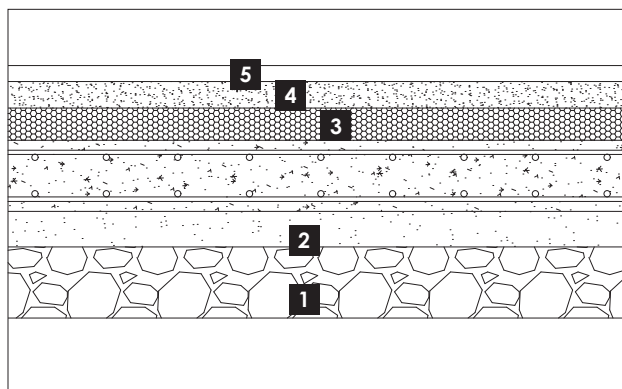
Area: 0,0061 m²
Lunghezza: 5,30 m
Numero totale di elementi: 46

8_Trave I-Joist (passerella):

Area: 0,0061 m²
Lunghezza: 2 m
Numero totale di elementi: 11

SOLAIO A TERRA

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOALE (kgCO2e)
1_Ghiaia	14,60	1500	21900,00	0,08	0,0052	Gravel_general	ICE 2011	1817,70	113,88
2_Sabbia	7,30	1500	10950,00	0,08	0,0051	Sand_general	ICE 2011	876,00	55,85
3_Isolante	9,27	32	296,64	102,1	4,84	Plastics_polyurethane	ICE 2011	30286,94	1435,74
4_Massetto in cls alleggerito	7,73	1800	13914,00	0,75	0,107	Concrete_general	ICE 2011	10435,50	1488,80
5_Pavimento in legno	4,64	750	3476,25	10	0,72	Timber_general	ICE 2011	34762,50	2502,90
Totale								78178,64	5597,16



Stratigrafia solaio controterra, scala 1:10

1_Ghiaia:

Spessore: 0,20 m
Superficie: 73 m²

2_Sabbia:

Spessore: 0,10 m
Superficie: 73 m²

3_Isolante:

Spessore: 0,09 m
Superficie: 103 m²

4_Massetto in cls alleggerito:

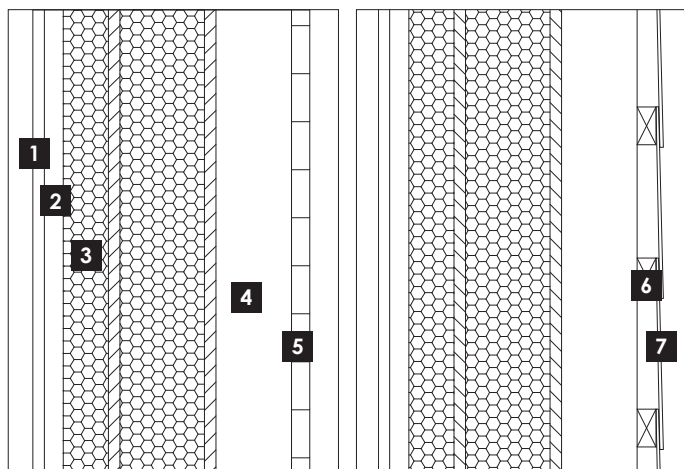
Spessore: 0,075 m
Superficie: 103 m²

5_Pavimento in legno:

Spessore: 0,045 m
Superficie: 103 m²

PARETI PERIMETRALI VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Lastra di cartongesso	2,85	760	2166,00	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	14620,50	844,74
2_Listelli di legno	0,48	750	360,00	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	3600,00	259,20
3_Isolante	12,36	31	383,16	20,90	0,00	Insulation_wool_recycled	ICE 2011	8008,04	0,00
4_Listelli di legno	1,90	750	1425,00	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	14250,00	1026,00
5_Rivestimento in legno di larice	3,01	550	1655,50	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	16555,00	1191,96
6_Listelli di legno	0,44	750	330,00	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	3300,00	237,60
7_Rivestimento in lastre di ardesia	0,38	2700	1026,00	0,00	0,00			0,00	0,00
Totale								60333,54	3559,50



Stratigrafia parete sud, scala 1:10

Stratigrafia parete nord, scala 1:10

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 190 m²

2_Listelli di legno:

Dimensioni: 0,025 m x 0,05 m
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 190 m²

3_Isolante:

Spessore: 0,06 m
Superficie: 206 m²

4_Listelli di legno:

Dimensioni: 0,10 m x 0,05 m
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 190 m²

5_Rivestimento in legno di larice:

Spessore: 0,024 m
Superficie: 125,60 m²

6_Listelli di legno:

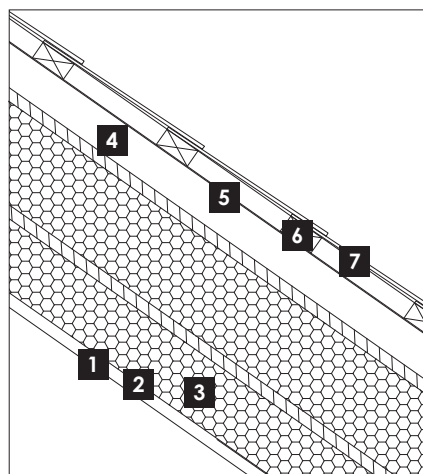
Dimensioni: 0,025 m x 0,05 m
Numero di elementi al m²: 5
Superficie: 70 m²

7_Rivestimento in lastre di ardesia riusate:

Spessore: 0,005 m
Superficie: 75 m²

COPERTURE

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Lastra di cartongesso	1,34	760	1018,40	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	6874,20	397,18
2_BARRIERA al vapore	0,09	615	54,74	51,00	0,50	Bitumen_general	ICE 2011	2791,49	27,37
3_Isolante	7,12	31	220,72	20,90	0,00	Insulation_wool	ICE 2011	4613,05	0,00
4_Listelli di legno	0,45	750	333,75	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	3337,50	240,30
5_Membrana impermeabilizzante	0,09	615	54,74	51,00	0,50	Bitumen_general	ICE 2011	2791,49	27,37
6_Listelli di legno	0,56	750	417,00	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	4170,00	300,24
7_Rivestimento in lastre di ardesia	0,45	2700	1201,50	0,00	0,00			0,00	0,00
Totale								24577,72	992,45



Stratigrafia copertura, scala 1:10

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 89 m²

3_BARRIERA al vapore:

Spessore: 0,001 m
Superficie: 89 m²

3_Isolante:

Spessore: 0,08 m
Superficie: 89 m²

4_Listelli di legno:

Dimensioni: 0,05 m x 0,05 m
Numero di elementi al m²: 2
Superficie: 89 m²

5_Membrana impermeabilizzante:

Spessore: 0,001 m
Superficie: 89 m²

6_Listelli di legno:

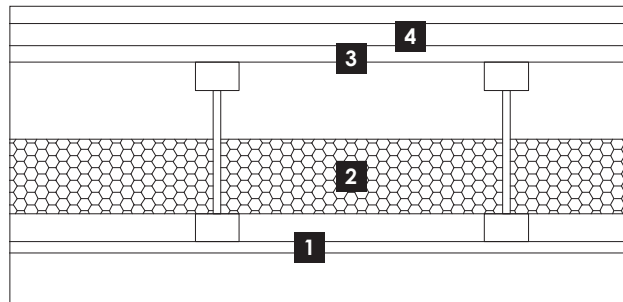
Dimensioni: 0,025 m x 0,05 m
Numero di elementi al m²: 5
Superficie: 89 m²

7_Rivestimento in lastre di ardesia riusate:

Spessore: 0,005 m
Superficie: 89 m²

SOLAIO

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC ITOALE (kgCO2e)
1_Lastra di cartongesso	1,13	760	855,00	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	5771,25	333,45
2_Isolante	7,50	31	232,50	20,90	0,00	Insulation_wool_recycled	ICE 2011	4859,25	0,00
3_OSB	1,65	630	1039,50	15,00	0,99	Timber_OSB	ICE 2011	15592,50	1029,11
4_Pavimento in legno	2,25	750	1687,50	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	16875,00	1215,00
Totale								43098,00	2577,56



Stratigrafia solaio interpiano, scala 1:10

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m
Superficie: 75 m²

2_Isolante:

Spessore: 0,10 m
Superficie: 75 m²

3_OSB:

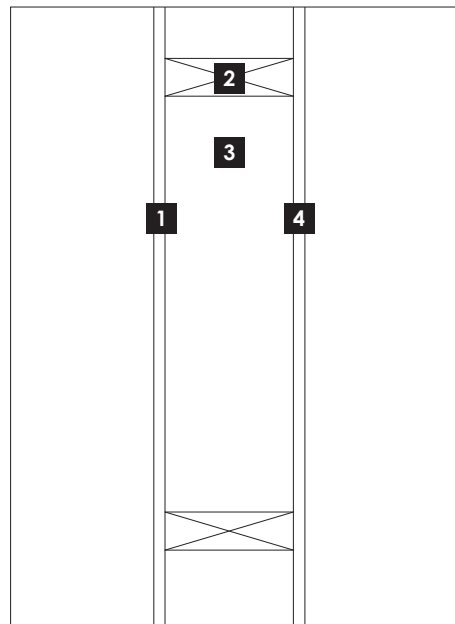
Spessore: 0,022 m
Superficie: 75 m²

4_Pavimento in legno:

Spessore: 0,03 m
Superficie: 75 m²

PARETI INTERNE VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
1_Lastra di cartongesso	0,98	760	741,00	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	5001,75	288,99
2_Listelli orizzontali	1,11	750	828,75	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	8287,50	596,70
3_Listelli verticali	1,11	750	828,75	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	8287,50	596,70
4_Pavimento in legno	0,98	760	741,00	6,75	0,39	Plaster_plasterboard	ICE 2011	5001,75	288,99
Totale								26578,50	1771,38



Stratigrafia pareti interne verticali, scala 1:10

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m

Superficie: 65 m²

2_Listelli orizzontali:

Dimensioni: 0,17 m x 0,05 m

Numero di elementi al m²: 2

Superficie: 65 m²

3_Listelli verticali:

Dimensioni: 0,17 m x 0,05 m

Numero di elementi al m²: 2

Superficie: 65 m²

1_Lastra di cartongesso:

Spessore: 0,015 m

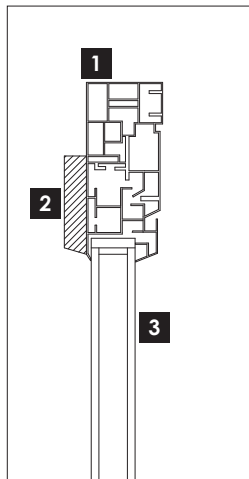
Superficie: 65 m²

Superficie: 75 m²

INFISSI ESTERNI VERTICALI

STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
TIPO A - Dimensioni: 0,75 x 0,75 m - Numero di elementi: 3									
1_Alluminio	0,003	2700	8,10	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	1765,80	103,60
2_Legno	0,003	750	2,03	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	20,25	1,46
3_Vetro	0,004	2500	10,00	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	150,00	9,10
Totale								5808,15	342,47

TIPO B - Dimensioni: 1,40 x 1,10 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,005	2700	13,50	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	2943,00	172,67
2_Legno	0,005	750	3,38	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	33,75	2,43
3_Vetro	0,013	2500	32,50	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	487,50	29,58
Totale								3464,25	204,67



1_Alluminio:

Area: 0,0010 m²

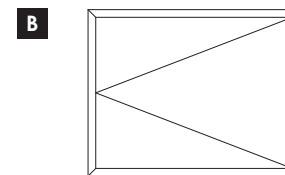
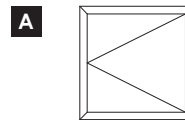
2_Legno:

Area: 0,0009 m²

3_Vetro:

Spessore lastra: 0,005 m

Numero di lastre: 2

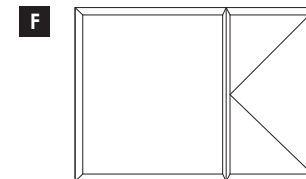
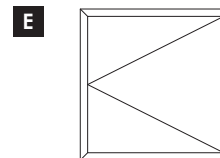
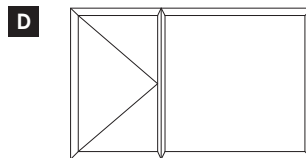
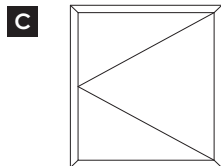


TIPO C - Dimensioni: 1,10 x 1,00 m - Numero di elementi: 4									
1_Alluminio	0,004	2700	11,21	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	2442,69	143,31
2_Legno	0,004	750	2,80	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	28,01	2,02
3_Vetro	0,009	2500	22,00	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	330,00	20,02
Totale								11202,81	661,40

TIPO D - Dimensioni: 1,00 x 1,60 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,007	2700	19,44	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	4237,92	248,64
2_Legno	0,007	750	5,40	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	54,00	3,89
3_Vetro	0,013	2500	32,50	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	487,50	29,58
Totale								4779,42	282,10

TIPO E - Dimensioni: 1,00 x 1,00 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,004	2700	10,80	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	2354,40	138,13
2_Legno	0,004	750	2,70	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	27,00	1,94
3_Vetro	0,008	2500	20,25	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	303,75	18,43
Totale								2685,15	158,50

TIPO F - Dimensioni: 1,15 x 1,60 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,008	2700	21,06	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	4591,08	269,36
2_Legno	0,007	750	5,27	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	52,65	3,79
3_Vetro	0,015	2500	38,00	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	570,00	34,58
Totale								5213,73	307,73



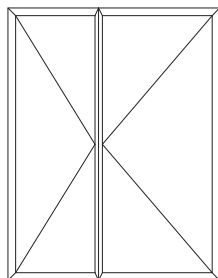
TIPO G - Dimensioni: 1,80 x 1,60 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,010	2700	27,00	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	5886,00	345,33
2_Legno	0,009	750	6,75	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	67,50	4,86
3_Vetro	0,021	2500	53,25	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	798,75	48,46
Totale								6752,25	398,65

TIPO H - Dimensioni: 1,50 x 1,00 m - Numero di elementi: 2									
1_Alluminio	0,005	2700	13,50	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	2943,00	172,67
2_Legno	0,005	750	3,38	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	33,75	2,43
3_Vetro	0,013	2500	31,50	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	472,50	28,67
Totale								6898,50	407,52

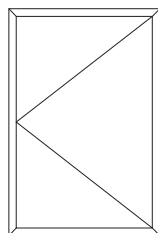
TIPO I - Dimensioni: 2,15 x 1,00 m - Numero di elementi: 3									
1_Alluminio	0,006	2700	17,01	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	3708,18	217,56
2_Legno	0,006	750	4,25	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	42,53	3,06
3_Vetro	0,019	2500	46,25	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	693,75	42,09
Totale								13333,37	788,12

TIPO L - Dimensioni: 1,90 x 0,90 m - Numero di elementi: 3									
1_Alluminio	0,006	2700	15,12	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	3296,16	193,38
2_Legno	0,005	750	3,78	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	37,80	2,72
3_Vetro	0,014	2500	36,00	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	540,00	32,76
Totale								3873,96	228,87

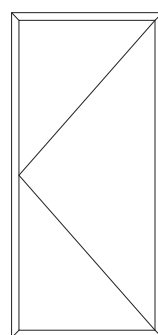
G



H



I

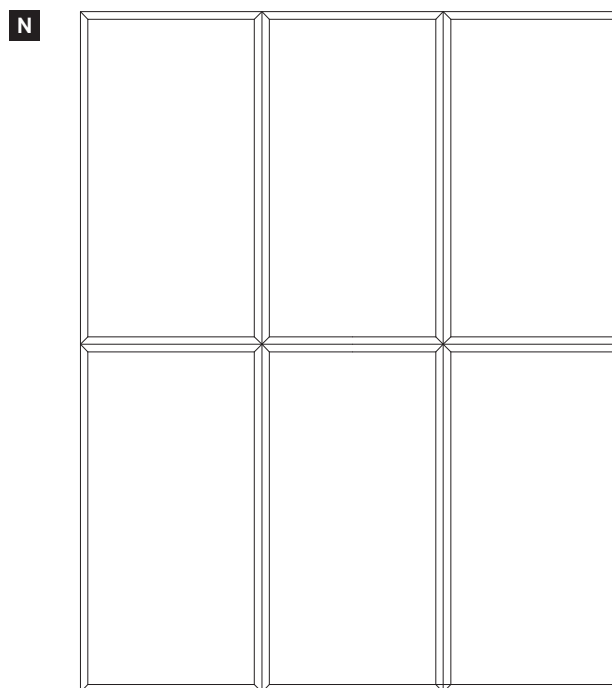
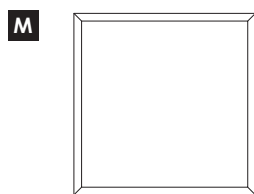


L



TIPO M - Dimensioni: 1,20 x 1,20 m - Numero di elementi: 3									
1_Alluminio	0,005	2700	12,96	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	2825,28	165,76
2_Legno	0,004	750	3,24	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	32,40	2,33
3_Vetro	0,012	2500	30,25	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	453,75	27,53
Totale								3311,43	195,62

TIPO N - Dimensioni: 3,50 x 4,60 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,041	2700	110,16	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	24014,88	1408,95
2_Legno	0,037	750	27,54	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	275,40	19,83
3_Vetro	0,139	2500	346,50	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	5197,50	315,32
Totale								29487,78	1744,09

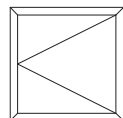


INFISSI INCLINATI

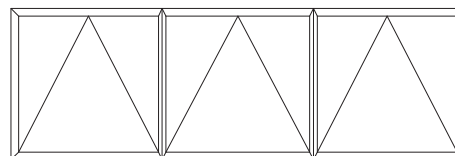
STRATO O ELEMENTO	VOLUME (mc)	DENSITA' MATERIALE (kg/mc)	QUANTITA' MATERIALE (kg)	EE (MJ/kg)	EC (kgCO2e/kg)	VOCE DATABASE	FONTE	EE TOTALE (MJ)	EC TOTALE (kgCO2e)
TIPO O - Dimensioni: 0,75 x 0,75 m - Numero di elementi: 3									
1_Alluminio	0,003	2700	8,10	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	1765,80	103,60
2_Legno	0,003	750	2,25	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	22,50	1,62
3_Vetro	0,004	2500	10,00	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	150,00	9,10
Totale								5814,90	342,96

TIPO P - Dimensioni: 3,00 x 1,00 m - Numero di elementi: 1									
1_Alluminio	0,012	2700	32,40	218,00	12,79	Aluminium_general	ICE 2011	7063,20	414,40
2_Legno	0,011	750	8,10	10,00	0,72	Timber_general	ICE 2011	81,00	5,83
3_Vetro	0,025	2500	62,50	15,00	0,91	Glass_primary glass	ICE 2011	937,50	56,88
Totale								8081,70	477,10

O



P



Bibliografia

PARTE I

Libri:

- P. Altamura, *Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, Franco Angeli Edizioni, 2015
- D. Baker-Brown, *The Re-Use Atlas: A Designer's Guide Towards a Circular Economy*, RIBA Publishing, 2017
- D. Cheshire, *Building Revolutions: Applying the Circular Economy to the Built Environment*, RIBA Publishing, 2016
- B. Commoner, *The Closing Circle*, Random House Inc, 1971
- F. Cumo, A. Sferra, E. Pennacchia, *Uso, disuso, riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*, Franco Angeli Edizioni, 2015
- C. Davidsen, C. Fischer, *EU as a Recycling Society. Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU*, ECC/SCP working paper, 2010
- L. De Lachenal, *Spolia. Uso e reimpiego dell'antico dal III al XIV secolo*, Longanesi, 1995
- D. Gabor, U. Colombo, A. King, R. Galli, *Beyond the Age of Waste: A Report to the Club of Rome*, Pergamon, 1978
- R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nei processi edilizi*, Sistemi Editoriali, 2010
- J. B. Jakobsen, "Quantitativi, composizione e riciclaggio degli scarti di costruzione e demolizione in Europa" in *Rifiuti Solidi*, 1992
- M. Lavagna, *Life cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, 2008
- D. Longo, *Decostruzione e riuso: procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*, Allinea, 2007
- D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens III, *The Limits to Growth*, Potomac Associates - Universe Books, 1972
- W. McDonough, M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Pr, 2002
- W. McDonough, M. Braungart, *The Hannover Principles: Design for Sustainability*, William McDonough & Partners, 1992
- G. Pauli, *Blue economy*, Edizioni Ambiente, 2010
- S. Schouten, *De Circulaire Economie: Waarom Productie, Consumptie En Groei Fundamenteel Anders Moeten*, Bureau de Helling, 2014
- A. M. Scolaro, *Progettare con l'esistente. Riuso di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare*, Franco Angeli Edizioni, 2017
- B. Stewart, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*, Viking Press, 1994

Pubblicazioni on-line:

- Commissione Europea, *EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines*, 2018
- Commissione Europea, *Horizon 2020*, 2014, https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_IT_KI0213413ITN.pdf
- Commissione Europea, *Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti*, 2014, <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/IT/1-2014-398-IT-F1-1.Pdf>
- Commissione Europea, *Opportunità per migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia*, 2014, <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/IT/1-2014-445-IT-F1-1.Pdf>
- Commissione Europea, *L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, 2015, http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/vari/anello_mancante_piano_azione_economia_circolare.pdf
- Commissione Europea, *Pacchetto sull'economia circolare*, 2018, <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/IT/COM-2018-32-F1-IT->

MAIN-PART-1.PDF

- Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy*, 2013, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- B. Guy, N. Ciarimboli, *Design for Disassembly in the Built Environment: a guide to closed loop design and building*, <http://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf>
- ISPRA, *L'Italia del riciclo*, 2017, https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/12/Rapporto_Italia_del_riciclo_2017.pdf
- ISPRA, *Rapporto Rifiuti Speciali*, 2015, http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/RapportoRifiutiSpeciali_Ed.2015n.225_Vers.Integrale.pdf
- Legambiente, *Rapporto Cave 2011*, 2011, https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/rapporto_cave_2011_0.pdf
- Legambiente, Università degli Studi di Padova, *Le opportunità di business e di innovazione dell'economia circolare e l'industria 4.0*, 2018, https://economia.unipd.it/sites/economia.unipd.it/files/EconomiaCircolare_4.0_Ecoforum2018_completa.pdf
- Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, *Programma e Rapporto dell'osservatorio*, 2009, http://www.minambiente.it/sites/default/files/programma_convegno_rifiuti.pdf
- F. Pomponi, A. Moncaster, "Circular economy for the built environment: A research framework" in *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, 2016, https://www.researchgate.net/publication/312803919_Circular_economy_for_the_built_environment_A_research_framework
- United Nations, *World Population Prospects*, 2017, https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf
- WRAP, *Designing out Waste: A design team guide for civil engineering*, 2000, <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Designing%20out%20Waste%20-%20a%20design%20team%20guide%20for%20civil%20engineering%20-%20Part%201%20%28interactive%291.pdf>

Siti internet:

- Blauer Engel - Database prodotti certificati, <http://www.blauer-engel.de/>
- BREEAM, <https://products.bre.co.uk/breem/>
- Ecolabel europeo, https://www.europa.eu.int/comm/environment/ecolabel/index_en.htm/
- Ecomalu, *Life Cycle Thinking*, 2017, <https://ecomalu.it/life-cycle-thinking/>
- Ellen MacArthur Foundation, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/>
- EPDs, <http://www.environdec.com/>
- Eurocodes, *The EN Eurocodes*, <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/>
- Fondazione Promozione Acciaio, *Economia circolare: acciaio e riciclo*, <https://www.promozioneacciaio.it/cms/it6637-economia-circolare-acciaio-e-riciclo.asp>
- GPP Green Public Procurement, European Commission, <https://www.europa.eu.int/comm/environment/gpp/index.htm/>
- Kalundborg Symbiose, 2017, <http://www.symbiosis.dk/en/>
- Storie di economia circolare, *Il quadro normativo UE*, 2018, <http://www.economicircolare.com/normativa/>

PARTE II

COUNCIL HOUSE 2

Pubblicazioni on-line:

- D. Bower, *ESD Construction Challenges. CH2 – a Case Study*, 2006, https://www.quarry.com.au/Portals/0/files/conferences/2006/bower_david_r3_thu.pdf
- D. Hes, "Assessment and Selection of Materials for Melbourne City Council House 2", *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 2012, https://www.researchgate.net/profile/Dominique_Hes/publication/287513344_Assessment_and_Selection_of_Materials_for_Melbourne_City_Council_House_2/links/575f1bf208aec91374b435cc/Assessment-and-Selection-of-Materials-for-Melbourne-City-Council-House-2.pdf
- G. Masera, *Natura Artificiale*, 2008, http://www.old.awn.it/AWN/Engine/RAServeFile.php/f/ARK0024_Progetto3.pdf

Siti internet:

- ArchDaily, *CH2 Melbourne City Council House 2 / DesignInc*, 2013, <https://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc>
- DesignInc, 2017, <http://www.designinc.com.au/projects/vic/ch2-melbourne-city-council-house-2>
- Rinnovabili, *L'edificio dei record*, 2013, <http://www.rinnovabili.it/monografia/green-building-efficienza-energetica-ch2-melbourne-566/>

CONCEPTOS PLASTICOS

Siti internet:

- L. Cooke, *These LEGO-like recycled plastic bricks create sturdy homes for just \$5,200*, 2016, <https://inhabitat.com/lego-like-building-blocks-of-recycled-plastic-allow-colombians-to-build-their-own-homes/>
- The Observers, *Building homes out of recycled plastic in Colombia*, 2016, <https://observers.france24.com/en/20160815-colombia-building-homes-recycled-plastic-displaced>

SAWMILL HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *SawMill House / Archier Studio*, 2015, <https://www.archdaily.com/771906/sawmill-house-archier-studio>
- Archier, *Sawmill House Waste not, want not*, 2017, <http://www.archier.com.au/project/sawmill-house/>
- A. Frearson, *Sawmill House is a reclaimed-concrete home for a sculptor on an old Australian gold mine*, 2015, <https://www.dezeen.com/2015/08/16/sawmill-house-archier-reclaimed-concrete-home-sculptor-old-australian-gold-mine-yackandandah/>

SEDE AZIENDA SAVNO

Pubblicazioni on-line:

- Savno Servizi, *L'edificio in numeri*, 2008, http://www.savnoservizi.it/documenti/for_download/nuovo_ecoedificio/ecoedificio_in_numeri.pdf
- Savno Servizi, *La sostenibilità ha trovato casa*, 2008, http://www.savnoservizi.it/documenti/for_download/nuovo_ecoedificio/libro_savno.pdf

Siti internet:

- Arketipo, *Savno si aggiudica Energy Globe Award per l'Italia*, 2009, <https://www.arketipomagazine.it/savno-si-aggiudica-energy-globe-award-per-litalia/>
- Savno Servizi, 2008, <http://www.savnoservizi.it/azienda/la-sede-topmenu-33.html>

PEOPLE'S PAVILION

Siti internet:

- Archello, *People's Pavilion: 100% borrowed*, 2017, <https://archello.com/project/peoples-pavilion-by-bureau-sla-overtreders-w>
- Arup, *Structural design for temporary building completely from borrowed material*, 2017, <https://www.arup.com/projects/peoples-pavilion>
- A. Frearson, *People's Pavilion "has almost no ecological footprint" say designers*, 2017, <https://www.dezeen.com/2017/10/27/peoples-pavilion-dutch-design-week-low-ecological-footprint-bureau-sla-overtreders-w/>
- Govaplast, 2014, <http://www.govaplast.com/production/>

TVZEB

Riviste:

- M. Brasca, G. L. Brasca, "TvZeb", in *Arketipo*, n. 74, 2013

Pubblicazioni on-line:

- ArchDaily, *TVZEB Zero Energy Building / Traverso Vighy*, 2013, <https://www.archdaily.com/340669/tvzeb-zero-energy-building-traverso-vighy>, <https://tvzeb.files.wordpress.com/2013/07/articolo-arketipo-n-74-june-2013.pdf>

Siti internet:

- Traverso Vighy, *TvZeb*, 2013, <http://www.traverso-vighy.com/tvzeb-zero-energy-building/>

BIG DIG HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Big Dig House / Single Speed Design*, 2009, <https://www.archdaily.com/24396/big-dig-house-single-speed-design>
- Architizer, *Big Dig House*, 2010, <https://architizer.com/projects/big-dig-house/>
- E. Lee, *Big Dig House*, 2006, <https://inhabitat.com/big-dig-house/>

BIMA MICROLIBRARY

Siti internet:

- ArchDaily, *Bima Microlibrary / SHAU Bandung*, 2016, <https://www.archdaily.com/790591/bima-microlibrary-shau-bandung>
- Domus, *Microbiblioteca*, 2017, <https://www.domusweb.it/it/notizie/2017/07/27/microbiblioteca.html>
- A. Griffiths, *Recycled ice cream tubs cover walls of elevated Microlibrary by Shau*, 2016, <https://www.dezeen.com/2016/07/16/microlibrary-shau-facade-recycle-ice-cream-tubs-bandung-indonesia-architecture/>

DEZANOVE HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Dezanove House / Iñaki Leite*, 2013, <https://www.archdaily.com/443464/dezanove-house-inaki-leite>
- Your Architect London, *Dezanove House*, 2017, <https://yourarchitect.london/projects/projects/dezanove/>

JELLYFISH THEATRE

Siti internet:

- AKT II, *Jellyfish Theatre*, 2010, <https://akt-uk.com/projects/jellyfish%20theatre>
- Folke Köbberling & Martin Kaltwasser, 2010, <http://www.koebberlingkaltwasser.de/jellyfish.html>
- J. Glancey, *Junkitecture and the Jellyfish theatre*, 2010, <https://www.theguardian.com/artanddesign/2010/aug/16/junkitecture-jellyfish-theatre-kaltwasser-kobberling>

TEMPORARY PAVILION

Siti internet:

- Architect Magazine, *Abwab D3 Pavilion 2017*, 2017, https://www.architectmagazine.com/project-gallery/abwab-d3-pavilion-2017_o
- A. Morris, *Fahed + Architects create bulbous copper pavilion from old bedsprings at Dubai Design Week*, 2017, <https://www.dezeen.com/2017/11/21/fahed-architects-bulbous-copper-pavilion-old-bedsprings-dubai-design-week/>
- E. Thorns, *The Luxury Pavilion Built From Recycled Bedsprings*, 2017, <https://www.archdaily.com/884520/the-luxury-pavilion-built-from-recycled-bed-springs>

UNA ESCUELA SUSTENTABLE

Siti internet:

- Equipo Editorial, *Conoce la escuela sustentable de Michael Reynolds en Jaureguiberry, Uruguay*, 2016, <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/789739/conoce-la-escuela-sustentable-de-michael-reynolds-en-jaureguiberry-uruguay>
- N. Jewell, *Earthship pioneer Michael Reynolds is building the first sustainable school in Argentina*, 2018, <https://inhabitat.com/earthship-pioneer-michael-reynolds-is-building-the-first-sustainable-school-in-argentina/greenschool30/>
- M. L. Leo, *Michael Reynolds per la prima scuola sostenibile in Uruguay*, 2016, <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/nel-mondo/michael-reynolds-scuola-uruguay-655/>
- N. Palous, *Una escuela sustentable construida con residuos*, 2017, <https://www.lavanguardia.com/vida/20170915/431296170184/escuela-sustentable-uruguay-residuos-michael-reynolds.html>

BARN AGAIN

Siti internet:

- In.site:architecture, *BARNagain*, 2014, <https://www.insitearch.com/barnagain/>
- B. Meinhold, *BARNagain Solar-Powered Home Built With Family's Own Reclaimed Wood*, 2013, <https://inhabitat.com/barnagain-solar-powered-home-built-with-familys-own-reclaimed-wood/barnagain-insite-architecture-2/>

NINGBO MUSEUM

Siti internet:

- ArchDaily, *Ningbo Historic Museum / Wang Shu, Amateur Architecture Studio*, 2009, <https://www.archdaily.com/14623/ningbo-historic-museum-wang-shu-architect/>
- B. McGetrick, *Ningbo History Museum*, 2012, <https://www.domusweb.it/en/from-the-archive/2012/03/03/ningbo-history-museum.html>
- WikiArquitectura, *Ningbo Historic Museum*, 2014, <https://en.wikiarquitectura.com/building/ningbo-historic-museum/>

RECYCLED MATERIALS COTTAGE

Siti internet:

- ArchDaily, *Recycled Materials Cottage / Juan Luis Martínez Nahuel*, 2011, <https://www.archdaily.com/134620/recycled-materials-cottage-juan-luis-martinez-nahuel>
- Juan Luis Martínez Nahuel arquitecto, *Refugio de Materiales Reciclados, Lago Pihueico, Panguipulli*. 2009, 2011, <https://www.juanluismartinez-nahuel.cl/product/refugio-de-materiales-reciclados/>
- S. Strachinaru, *Recycled Forest Cottage by Juan Luis Martinez Nahuel*, 2011, <https://www.homedit.com/recycled-forest-cottage-by-juan-luis-martinez-nahuel/>

KAMIKATZ PUBLIC HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Kamikatz Public House / Hiroshi Nakamura & NAP*, 2018, <https://www.archdaily.com/892767/kamikatz-public-house-hiroshi-nakamura-and-nap>
- Architizer, *Kamikatz Public House*, 2018, <https://architizer.com/projects/kamikatz-public-house/>
- B. Bacialli, *Kamikatz public house, il birrifico giapponese realizzato solo con materiali riciclati*, 2017, <https://www.lifegate.it/persone/stile-di-vita/kamikatz-public-house>

TY PREN

Siti internet:

- ArchDaily, *Ty Pren / Feilden Fowles*, 2012, <https://www.archdaily.com/255206/ty-pren-feilden-fowles>
- Feilden Fowles, *Ty Pren*, 2011, <http://www.feildenfowles.co.uk/ty-pren/>

UPCYCLE HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Upcycle House / Lendager Arkitekter*, 2013, <https://www.archdaily.com/458245/upcycle-house-lendager-arkitekter>
- E. Bozzola, *Upcycle House, la casa tutta riciclata*, 2015, <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/upcycle-house-casa-riciclata-341/>
- Lendager Group, *Upcycle House*, 2015, <https://lendager.com/en/architecture/upcycle-house-en/>

VILLA WELPELOO

Riviste:

- A. Seredyn, "Villa Welpeloo", in *Architektura & Biznes*, 2010
- "Casa d'abitazione a Enschede", in *Detail*, n. 12, 2010
- "Single-family house in Enschede. Recycling as an art form", in *Detail Green Edition*, n. 2, 2010

Siti internet:

- Archello, *Villa Welpeloo*, 2010, <https://archello.com/project/villa-welpeloo-2>
- E. Dedè, *Architettura a chilometro zero: Villa Welpeloo*, 2012, <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/in-europa/architettura-chilometro-zero-villa-welpeloo-505/>
- D. Devoti, *Villa Welpeloo di 2012Architecten*, 2011, <http://www.devoti.it/villa-welpeloo-di-2012architecten/>
- The Plan, *Villa Welpeloo*, <https://www.theplan.it/webzine/report-web/villa-welpeloo>

COLLAGE HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Collage House / S+PS Architects*, 2016, <https://www.archdaily.com/786059/collage-house-s-plus-ps-architects>
- Domus, *Collage House*, 2016, https://www.domusweb.it/it/architettura/2016/04/28/s_ps_architects_collage_house.html
- A. Griffiths, *Reclaimed windows and doors form facades of Collage House by S+PS Architects*, 2016, <https://www.dezeen.com/2016/05/01/s-ps-collage-house-reclaimed-window-door-facade-mumbai-india/>

WASTE HOUSE

Siti internet:

- M. Albè, *Waste House: il nuovo laboratorio dell'Universita' di Brighton costruito con i rifiuti*, 2014, <https://www.greenme.it/abitare/bioedilizia-e-bioarchitettura/13663-waste-house-laboratorio-rifiuti>
- A. Griffiths, *Waste House by BBM is "UK's first permanent building made from rubbish"*, 2014, <https://www.dezeen.com/2014/06/19/waste-house-by-bbm-architects-is-uks-first-permanent-building-made-from-rubbish/>
- University of Brighton, *Brighton 'Waste House'*, 2011, <http://arts.brighton.ac.uk/projects/wastehouse>

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES

Pubblicazioni on-line:

- Institute of Applied Sustainability to the Built Environment (ISAAC), Swiss BiPV Competence Centre, 2014, http://www.bipv.ch/images/esempi/altro/CaliforniaAcademyScience/California_Academy_of_Science_ENG_.pdf

Siti internet:

- ArchDaily, *California Academy of Sciences / Renzo Piano Building Workshop*, 2008, <https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano>

- Green Building Brain, 2008, https://greenaudiotours.com/items/california_academy_of_sciences
- S. Romancini, *Renzo Piano Building Workshop, la California Academy of Sciences vista da vicino*, 2017, <https://www.architetti.com/renzo-piano-building-workshop-california-academy-of-sciences-vista-da-vicino.html>
- US Green Building Council, 2008, <https://www.usgbc.org/projects/california-academy-sciences-1>
- WikiArquitectura, 2010, <https://en.wikiarquitectura.com/building/academy-of-sciences-in-california/>

CAPILLA SAN BERNARDO

Siti internet:

- ArchDaily, *Capilla San Bernardo / Nicolás Campodonico*, 2016, <https://www.archdaily.com/787710/capilla-san-bernardo-nicolas-campodonico>
- S. Gulati, *Capilla San Bernardo- A divine experience | Nicolás Campodonico*, 2016, <https://www.arch2o.com/capilla-san-bernardo-divine-experience-nicolas-campodonico/>

CLAY ROOF HOUSE

Riviste:

- C. Low, "Sound of Movement", *Design + Architecture Magazine*, n. 91, 2016

Siti internet:

- ArchDaily, *Clay Roof House / DRTAN LM Architect*, 2016, <https://www.archdaily.com/784186/clay-roof-house-drtan-lm-architect>
- A. Williams, *Clay Roof House keeps cool with a twist of terracotta*, 2016, <https://newatlas.com/clay-roof-house/42476/>

TONGJIANG RECYCLED BRICK SCHOOL

Siti internet:

- ArchDaily, *Tongjiang Recycled Brick School / Joshua Bolchover - John Lin*, 2012, <https://www.archdaily.com/252725/tongjiang-recycled-brick-school-rufwork>
- Divisare, *John Lin, Tongjiang Recycled Brick School*, 2013, <https://divisare.com/projects/231379-rural-urban-framework-john-lin-tongjiang-recycled-brick-school>
- D. T. Ferrando, *Tongjiang Recycled Brick School*, 2012, <http://www.zeroundicipiu.it/2012/07/06/tongjiang-recycled-brick-school/>

S11 HOUSE

Libri:

- *Tropical Architecture for the 21st Century Volume 1*, BluPrint, 2017

Siti internet:

- ArchDaily, *S11 House / ArchiCentre*, 2013, <https://www.archdaily.com/313041/s11-house-archicentre/>

SCHOOL OF NURSING

Pubblicazioni on-line:

- S. McDowell, D. Lake, *Nurture*, 2007, <https://www.bnim.com/sites/default/files/library-2/nurture.pdf>

Siti internet:

- ArchDaily, *School of Nursing and Student Community Center at the University of Texas Health Science Center in Houston / Lake | Flato Architects and BNIM Architects*, 2011, <https://www.archdaily.com/156788/school-of-nursing-and-student-community-center-at-the-university-of-texas-health-science-center-in-houston-lakeflato-architects-and-bnim-architects/>
- BNIM, *School of Nursing and Student Community Center*, 2015, <https://www.bnim.com/project/school-nursing-and-student-community-center>
- US Green Building Council, 2009, <https://www.usgbc.org/projects/school-nursing-and-student-community>

CHARTWELL SCHOOL

Pubblicazioni on-line:

- T. M. Boake, University of Waterloo, *Arch 226: philosophies of sustainable design*, http://www.tboake.com/2014/226_sust_philosophy-2014.pdf
- S. Shell, O. Gutierrez, L. Fischer, *Design for Deconstruction: The Chartwell School Case Study*, <http://www.lifecyclebuilding.org/docs/DFD.pdf>

Siti internet:

- EHDD, *Chartwell School*, 2006, <http://www.ehdd.com/work/chartwell-school>
- The American Institute of Architects, *Chartwell*, <http://www.aiaopten.org/node/117>
- US Green Building Council, 2007, <https://www.usgbc.org/projects/chartwell-school>

BRE BUILDING

Pubblicazioni on-line:

- BRE, *The Environmental Building: A Model for the 21st Century*, <http://projects.bre.co.uk/envbuild/envirbui.pdf>

Siti internet:

- FCBStudio, *New Environmental Office, BRE*, 2009, <https://fcbstudios.com/work/view/new-environmental-office-bre>

AUDITORIUM NICCOLÒ PAGANINI

Pubblicazioni on-line:

- ArchiDiAP, *Approfondimento Auditorium Paganini*, <http://www.archidiap.com/beta/assets/uploads/2018/07/Approfondimento-Auditorium-Pagani.pdf>

Siti internet:

- Archiportale, *Aedifica: riconversione dell'edificio industriale Brin 69 a Napoli*, 2010, https://www.archiportale.com/news/2010/08/architettura/aedifica-riconversione-dell-edificio-industriale-brin-69-a-napoli_19605_3.html

- F. Feudi, *Auditorium Paganini*, 2018, <http://www.archidiap.com/opera/auditorium-paganini/>

BRIN 69

Riviste:

- O. Pagani, "Brin 69 Building", in *Arketipo*, n. 99, 2016

Siti internet:

- Vulnicura Architettura, *Brin 69*, <https://www.vulcanicaarchitettura.com/brin-69>

CASA MEDITERRANEO

Siti internet:

- ArchDaily, *Refurbishment of the Old Benalúa Station and Insertion of Casa Mediterraneo Headquarters / Manuel Ocaña del Valle*, 2013, <https://www.archdaily.com/347226/refurbishment-of-the-old-benalua-station-and-insertion-of-casa-mediterraneo-headquarters-manuel-ocana>
- Manuel Ocaña, *Refurbishment of the old Benalúa Station and insertion of Casa Mediterraneo Headquarters. Alicante. 2010-2012., 2013*, <http://www.manuelocana.com/htm/proyectos/casamediterraneo.html>

GEMINI RESIDENCE

Siti internet:

- M. Block, *Gemini Residence. MVRDV trasforma due ex silos in splendide residenze*, 2013, <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/in-europa/gemini-residence-mvrdv-silos-residenze-392/>
- B. Meinhold, *MVRDV Converts Twin Silos into Gemini Residences on Copenhagen's Waterfront*, 2013, <https://inhabitat.com/mvrdv-converts-twin-silos-into-the-gemini-residences-located-on-copenhagens-waterfront/>
- MVRDV, *Frøsilo*, 2018, <https://www.mvrdv.nl/en/projects/frosilo>

LESZCZYNSKI ANTONINY MANOR INTERVENTION

Siti internet:

- ArchDaily, *Leszczynski Antoniny Manor Intervention / NA NO WO architekci*, 2016, <https://www.archdaily.com/781567/leszczynski-antoniny-manor-intervention-na-no-wo-architekci>
- NA NO WO architekci, <http://www.nanowoarchitekci.pl/domseniora>

THE SILO

Siti internet:

- ArchDaily, *The Silo / COBE*, 2017, <https://www.archdaily.com/874698/the-silo-cobe/>
- COBE, *The Silo*, <http://www.cobe.dk/project/the-silo-0>
- I. Lucaselli, *COBE trasforma un silo a Copenaghen in un prisma d'acciaio*, 2017, <http://www.artwort.com/2017/08/07/architettura/cobe-silo-copenaghen/>
- C. Slessor, *The Silo in Copenhagen, Denmark by COBE*, 2017, <https://www.architectural-review.com/buildings/the-silo-in-copenhagen-denmark-by->

AIZKIBEL LIBRARY EXTENSION

Siti internet:

- ArchDaily, *Aizkibel Library Extension / Estudio Beldarrain*, 2015, <https://www.archdaily.com/773726/enlargement-of-aizkibel-library-estudio-beldarrain>
- N. Kwok, *Estudio Beldarrain expands basque library with sculptural timber library extension*, 2015, <https://www.designboom.com/architecture/estudio-beldarrain-azkotia-library-extension-spain-11-23-2015/>
- J. Mairs, *Estudio Beldarrain uses reclaimed railway sleepers to extend Spanish library*, 2015, <https://www.dezeen.com/2015/11/26/aizkibel-library-extension-reclaimed-railway-sleepers-spain-estudio-beldarrain/>

PROTIRO

Siti internet:

- ArchDaily, *PROTIRO / NOWA*, 2017, <https://www.archdaily.com/802822/protiro-nowa>
- D. Bracchini, *Protiro di Nowa Architecture: se le cassette della frutta diventano facciata*, 2017, <http://www.architetto.info/news/recupero-e-restauro/protiro-di-nowa-architecture-se-le-cassette-della-frutta-diventano-facciata/>

SIDWELL FRIENDS MIDDLE SCHOOL

Pubblicazioni on-line:

- E. Drake, M. Goyak, M. VanSoest, Department of Architecture Ball State University, *Sidwell Friends Middle School*, <https://www.bsu.edu/About/AdministrativeOffices/BBC/Fellows/RecentProjects/CharterSchools/CaseStudies/Private/-/media/WWW/DepartmentalContent/BBC/CharterSchools/PDFs/9%20Sidwell%20Friends%20Middle%20School85x11.ashx>

Siti internet:

- J. Hill, *Sidwell Friends Middle School*, 2007, <https://archidose.blogspot.com/2007/06/sidwell-friends-middle-school.html>
- KieranTimberlake, *Stewart Middle School*, 2013, <https://kierantimberlake.com/pages/view/230/stewart-middle-school/>

CUBO HOUSE

Siti internet:

- ArchDaily, *Cubo House / PHOOEY Architects*, 2015, <https://www.archdaily.com/633837/cubo-house-phooey-architects>
- PHOOEY Architects, *Cubo House*, 2014, <https://www.phooey.com.au/projects/90/cubo-house>
- L. Tebbutt, *Bricks, doors and roof tiles recycled by Phooey Architects for Melbourne house extension*, 2015, <https://www.dezeen.com/2015/07/24/bricks-doors-roof-tiles-recycled-phooey-architects-for-melbourne-australia-house-extension/>

ALLIANDER HQ

Riviste:

- M. Henket, "Een georganiseerd grondstoffendepot", in *de Architect*, 2015,

Siti internet:

- ArchDaily, *Alliander HQ / RAU architects*, 2015, <https://www.archdaily.com/777783/alliander-hq-rau-architects/>
- D. Baker-Brown, *An Insight Into the Re-Use Atlas*, 2017, <https://bbm-architects.co.uk/blog/11-an-insight-into-the-re-use-atlas/>
- BREEAM, *Huisvesting Alliander Duiven*, 2013, <https://www.breeam.nl/projecten/huisvesting-alliander-duiven-0>

METAMORFOSE

Siti internet:

- F. Dodici, *Green Lease ed economia circolare per un futuro sostenibile*, 2017, <https://www.spazio33consulting.it/affitto-casa/green-lease-ed-economia-circolare-per-un-futuro-sostenibile/>
- XX architecten, *Metamorfose*, 2015, <http://xxarchitekten.nl/?p=112>

PADIGLIONE KUWAIT

Siti internet:

- L'Eco di Bergamo, *Il padiglione del Kuwait a Val Brembilla. Un milione e 250 mila euro per i lavori*, 2017, https://www.ecodibergamo.it/stories/val-le-brembana/il-padiglione-del-kuwait-a-val-brembilla-un-milione-e-250-mila-euro-per-i-lavori_1239375_11/
- La Voce delle Valli, *A Val Brembilla l'ex padiglione Expo del Kuwait prende forma: pronto ad ottobre*, 2018, <http://www.lavocedellevalli.it/valbrembana/articolo/a-val-brembilla-l-ex-padiglione-expo-del-kuwait-prende-forma-pronto-ad-ottobre>
- Promozione Acciaio, *Padiglione Kuwait*, 2015, <https://www.promozioneacciaio.it/cms/it6434-padiglione-kuwait.asp>

PADIGLIONE URUGUAY

Siti internet:

- V. Fisichella, *Padiglione Uruguay "I sapori naturali sicuri per il Pianeta"*, <https://www.arketipomagazine.it/padiglione-uruguay-i-sapori-naturali-sicuri-per-il-pianeta/>
- S. Giudici, *Eredità Expo, il padiglione Uruguay diventa un ristorante a Origgio*, 2016, <https://www.ilgiorno.it/varese/economia/expo-padiglione-uruguay-origgio-1.2018857>
- Ingegneri, *EXPO 2015: alla prima partecipazione, l'Uruguay sceglie l'acciaio*, 2015, <https://www.ingegneri.cc/expo-2015-alla-prima-partecipazione-uruguay-sceglie-acciaio.html>
- Promozione Acciaio, *Padiglione Uruguay*, 2015, <https://www.promozioneacciaio.it/cms/it6385-padiglione-uruguay.asp>
- Studio Ambiente, *Padiglione Uruguay Expo 2015*, https://www.studioambiente.it/portfolio_page/padiglione-uruguay-expo-2015/

NOMADIC MUSEUM

Siti internet:

- M. Costanzo, *Shigeru Ban. Nomadic Museum*, 2008, http://www.vg-hortus.it/index.php?option=com_content&view=article&id=383:shigeru-ban-nomadic-museum&catid=1:opere&Itemid=2
- D. Douglas-Jaimes, *AD Classics: Nomadic Museum / Shigeru Ban Architects*, 2016, <https://www.archdaily.com/777307/ad-classics-nomadic-museum-shigeru-ban-architects>

- C. Eco, *Nomadic Museum*, 2008, <https://www.arketipomagazine.it/nomadic-museum/>

CIRCULAR PAVILION

Pubblicazioni on-line:

- Encore Heureux, *Circular Pavilion. Building with reused materials*, 2015, <https://img.archilovers.com/projects/3f942bfd-4940-4a28-ab8a-d95bbc-4c7d53.pdf>

Siti internet:

- ArchDaily, *The Circular Pavilion / Encore Heureux Architects*, 2015, <https://www.archdaily.com/778972/the-circular-pavilion-encore-heureux-architects>
- Pavillon de l'Arsenal, *Circular Pavilion*, <http://www.pavilloncirculaire.com/en/home/10107-circular-pavilion.html>
- Platform, *Circular Pavilion*, 2015, <http://www.platform-ad.com/it/circular-pavilion/>

PARTE III

Libri:

- P. Altamura, *Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, Franco Angeli Edizioni, 2015
- E. Antonini, "Valutazione dell'idoneità tecnica al reimpiego di componenti edilizi", in V. Gangemi, a cura di, *Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, 2004
- E. Cangelli, P. Adriano, *Il progetto ambientale degli edifici. LCA, EMAS, Ecolabel, gli standard ISO applicati al processo edilizio*, Alinea, 2001
- P. Ciorra, S. Marini, *Re-cycle. Strategie per l'architettura, la città e il pianeta*, electa, 2011
- F. Cumo, A. Sferra, E. Pennacchia, *Uso, disuso, riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*, Franco Angeli Edizioni, 2015
- R. Giordano, *I prodotti per l'edilizia sostenibile. La compatibilità ambientale dei materiali nei processi edilizi*, Sistemi Editoriali, 2010
- M. Lavagna, *Life cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, 2008
- D. Longo, *Decostruzione e riuso: procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*, Alinea, 2007
- E. Manzini, C. Vezzoli, *Lo sviluppo di prodotti sostenibili. I requisiti ambientali dei prodotti industriali*, Maggioli editore, 1998
- P. Neri, *Verso la valutazione ambientale degli edifici: life cycle assesment a supporto della progettazione eco-sostenibile*, Alinea, 2007
- SETAC, *Guidelines for Life-Cycle Assessment: a code of practise*, SETAC, 1993
- A. M. Scolaro, *Progettare con l'esistente. Riuso di edifici, componenti e materiali per un processo edilizio circolare*, Franco Angeli Edizioni, 2017

Riviste:

- E. Antonini, G. Mucelli, N. Sinopoli, "Sostenibile come un rifituo", in *Costruire*, n. 207, 2000
- N. Bosco, *Il riciclo e il riuso*, in *Recycling - demolizioni e riciclaggio*, n. 9, 1997, Edizioni PEI
- P. Lassandro, "Riutilizzare i materiali edili", in *Recycling - demolizioni e riciclaggio*, n. 1, 2004, Edizioni PEI

Pubblicazioni on-line:

- E. Antonini, M. Tarantini, B. Sara, *Application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology for selective demolition and reuse-recycling of building materials and products*, 2000, https://www.researchgate.net/publication/242760428_Application_of_Life_Cycle_Assessment_LCA_methodology_for_selective_demolition_and_reuse-recycling_of_building_materials_and_products
- L. Aye, T. Ngo, R. H. Crawford, R. Gammampila, P. Mendis, "Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules", in *Energy and Buildings*, 2012, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005950>
- R. J. Cole, "Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems", in *Building and Environment*, 1999, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132398000201>
- EPDs, <http://www.environdec.com>
- G. P. Hammond, C. I. Jones, *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 1.6a*, 2008, <http://www.organicexplorer.co.nz/site/organicexplore/files/ICE%20Version%201.6a.pdf>
- G. P. Hammond, C. I. Jones, *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0*, 2011, www.carbonsolutions.com/resources/ice%20v2.0%20-%20jan%202011.xls
- ICE UK, *Demolition Protocol*, 2008, <http://www.ice.org.uk/Informationresources/Document-Library/Demolition-Protocol-2008>
- D. Langdon, *Designing out Waste: a design team guide for buildings*, WRAP, UK, 2009
- W. Lu, H. Yuan, "Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113005881>
- M. Paleari, A. Campioli, *I rifiuti da costruzione e demolizione: LCA della demolizione di 51 edifici residenziali*, 2015, https://www.ingegneriadellambiente.net/vol2_n4/356-1464-1-PB.pdf
- O. Pons, G. Wadel, "Environmental impacts of prefabricated school buildings in Catalonia", in *Habitat International*, 2011, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397511000191>
- I. Sartori, A. G. Hestnes, "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article", in *Energy and Buildings*, 2007, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806001873>
- C. M. Tam, V. W. Tam, J. Chan, "Use of Prefabrication to Minimize Construction Waste - A Case Study Approach", in *International Journal of Construction Management*, 2005, https://www.researchgate.net/publication/235986498_Use_of_Prefabrication_to_Minimize_Construction_Waste_-_A_Case_Study_Approach
- WRAP, *Reclaimed building products guide*, 2008, http://rcproducts.wrap.org.uk/construction/reclaimed_building.html
- WRAP, *Reference guide Designing out Waste Tool for buildings*, http://www.wrap.org.uk/system/files/private/1927902%20Design%20online%20pdf%20version_0.pdf