

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

# **Riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione**

**Analisi del panorama svizzero e del  
potenziale di circolarità dei componenti  
edilizi derivanti dalle demolizioni**



**Politecnico  
di Torino**

**Relatore**

Prof. Elena Piera Montacchini

**Correlatore:**

Prof. Silvia Tedesco

**Candidato**

Arianna Palazzi

---

2023 - 2024



# Abstract

Il crescente consumo di risorse e la produzione di rifiuti, alimentati dall'economia dell' "usa e getta", rappresentano una sfida cruciale per la società contemporanea. Secondo l'International Solid Waste Association, ogni anno si generano circa quattro miliardi di tonnellate di rifiuti, con il settore edilizio che contribuisce in modo significativo, producendo oltre il 30% del totale (dati Eurostat del 2020). Di fronte a questa realtà, diventa imprescindibile ridurre la produzione di rifiuti derivanti da costruzioni e demolizioni, interrompendo il tradizionale processo lineare di produzione e smaltimento e promuovendo il riuso.

Questa tesi esplora il riutilizzo e il reimpiego dei rifiuti da demolizione, analizzandone sia gli aspetti pratici che normativi, e valutandone vantaggi e sfide, soprattutto in un contesto edilizio caratterizzato da tecniche costruttive spesso incompatibili con tali pratiche. L'analisi è focalizzata sul panorama svizzero, dove la demolizione è molto praticata, rappresentando una risposta alla crescente domanda di spazi abitativi dovuta all'aumento demografico.

L'obiettivo principale della ricerca è valutare la fattibilità del riuso dei rifiuti da demolizione e identificare i criteri che la determinano. A tale fine, la tesi esamina vari approcci e metodologie, con particolare attenzione a quella proposta dall'associazione svizzera Ecobau. Questo approccio include indagini sul campo e studi documentali, culminando in un'analisi del potenziale di riuso.

La metodologia è stata poi applicata a un caso concreto: un appartamento in un edificio destinato alla demolizione nel Canton Zurigo. Per ciascun componente dell'appartamento sono state rilevate caratteristiche dimensionali, quantità, posizione,

stato di conservazione (inclusi eventuali danni e la capacità dell'elemento di mantenere la sua funzione), tipo di connessione e facilità di smantellamento. I dati sono stati forniti al tool di analisi creato da Ecobau, che ha portato ad una valutazione del potenziale di riuso di ogni componente. Successivamente, i dati sono stati analizzati per stimare la percentuale recuperabile rispetto al volume totale dei rifiuti e le possibili modalità di recupero.

I risultati mostrano che, per una costruzione realizzata durante gli anni '50 in Svizzera, come quella esaminata, è molto difficile prevedere il riutilizzo della struttura portante a causa dell'elevata quantità di calcestruzzo, uno dei materiali più difficili da riutilizzare. Tuttavia, circa il 70% del volume totale dei rifiuti può essere recuperato e riutilizzato. Tra le opzioni di riuso, quello off-site si rivela la più probabile per la maggior parte dei materiali.

In conclusione, lo studio dimostra che, nonostante le difficoltà tecniche, esistono significative opportunità per il riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione, rappresentando una risposta concreta per ridurre l'impatto ambientale del settore edilizio.



# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>Parte I – Panoramica Sui Rifiuti da Costruzione E Demolizione: Definizioni, Gestioni E Quadro Normativo Tra Europa E Svizzera</b>	<b>4</b>
<b>1 Cos'è un Rifiuto? Definizioni e Pratiche di Gestione Sostenibile</b>	<b>6</b>
1.1 Definizione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione . . . . .	6
1.2 Gestione Sostenibile dei Rifiuti: Analisi della Waste Hierarchy . . . .	13
<b>2 Quadro Normativo e Linee Guida sui Rifiuti C&amp;D nel Contesto Europeo e Svizzero</b>	<b>17</b>
2.1 Direttiva 2008/98/CE . . . . .	18
2.2 Protocollo UE per la Gestione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione	21
2.3 Orientamenti per Le Verifiche Dei Rifiuti Prima dei Lavori di Demolizione e di Ristrutturazione degli Edifici . . . . .	25
2.4 Ordinanza Svizzera sulla Prevenzione e Smaltimento dei Rifiuti OPSR	26
2.5 Normativa SIA 430 per Lo Smaltimento dei Rifiuti Edili . . . . .	28
<b>3 Svizzera: L'abitudine alla Tabula Rasa – Analisi del Patrimonio Edilizio e delle Operazioni di Demolizione</b>	<b>30</b>
3.1 Il Patrimonio Edilizio Svizzero . . . . .	30
3.2 Le Operazioni di Demolizione . . . . .	35

<b>Parte II - Il Riutilizzo Dei Rifiuti da Costruzione E Demolizione Come Strategia Sostenibile: Analisi, Opportunità e Sfide</b>	<b>43</b>
<b>4 Introduzione al Concetto di Economia Circolare</b>	<b>44</b>
4.1 Definizione di Sviluppo Sostenibile e di Economia Circolare . . . . .	44
4.2 Approcci alla Base del Modello Circolare: Le R-Strategies . . . . .	52
4.2.1 La Strategia Del Re-Use: Differenze Fra Riutilizzo E Reimpiego	54
<b>5 Il Riutilizzo dei Rifiuti C&amp;D in Architettura</b>	<b>56</b>
5.1 Il Riutilizzo in Architettura: Vantaggi e Riferimenti Storici . . . . .	56
5.2 Progettare Edifici Circolari: Pianificare il Fine Vita in Ottica di Riutilizzo	63
5.2.1 La Decostruzione Selettiva . . . . .	66
5.3 Le Sfide e gli Ostacoli del Riutilizzo nell'Edilizia Contemporanea . . . . .	76
5.4 Esempi di Riutilizzo dei Rifiuti C&D nel Panorama Svizzero e Internazionale . . . . .	83
5.4.1 Kopfbau Halle 118 . . . . .	83
5.4.2 Zero Waste - Umbau TRANSA . . . . .	85
5.4.3 Grande Halle . . . . .	87
5.4.4 Häxenhüsli . . . . .	89
5.4.5 KREIS-Haus . . . . .	91
5.4.6 Tiles Garden e il Ningbo Historic Museum . . . . .	93
5.4.7 Karstadt Re-Parked . . . . .	95
5.4.8 Resource Rows . . . . .	97
5.4.9 Upcycle Studios . . . . .	99
5.4.10 The Swan . . . . .	101
<b>6 Valutare il Potenziale di Riutilizzo dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione e i Possibili Impieghi</b>	<b>103</b>
6.1 Come Valuto il Potenziale di Riutilizzo? . . . . .	103
6.2 Le Possibili Destinazioni . . . . .	113

6.3	Modelli e Strumenti Esistenti per la Valutazione dei Componenti Edilizi . . . . .	115
6.4	Piattaforme Online per la Condivisione e la Vendita dei Componenti Edilizi di Recupero . . . . .	120
<b>Parte III - Caso Studio: Schulstrasse 27</b>		<b>124</b>
<b>7</b>	<b>Analisi del Potenziale di Riuso di Un Edificio in via di Demolizione nel Canton Zurigo</b>	<b>125</b>
7.1	Introduzione al Caso Studio: L'area Schindler e il Nuovo Progetto .	125
7.2	Valutazione del Potenziale di Riuso . . . . .	128
7.2.1	Definizione dell'Obiettivo . . . . .	129
7.2.2	Raccolta Documentale e Studio del Progetto . . . . .	129
7.2.3	Ispezione fisica, Rilievo e Acquisizione di Fotografie . . . . .	135
7.2.4	Applicazione dello Strumento Ecobau di Valutazione del Potenziale di Riuso . . . . .	142
7.2.5	Risultati finali . . . . .	155
<b>8</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>161</b>
	<b>Elenco delle figure</b>	<b>165</b>
	<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>173</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>175</b>

# Introduzione

"Esiste un solo pianeta Terra, eppure da qui al 2050 il mondo consumerà risorse pari a tre pianeti, e parallelamente la produzione annuale di rifiuti aumenterà del 70%" [1].

È con queste parole che si apre il documento redatto dall'Unione Europea nel 2020 dal titolo Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare, per un'Europa più pulita e più competitiva. Questo documento affronta le conseguenze di una società altamente consumista e di un'economia "produci-usa-getta", che porta a una rapida svalutazione degli oggetti e a un costante incremento dei rifiuti, con impatti devastanti sull'ambiente.

Secondo l'International Solid Waste Association, attualmente vengono prodotti circa quattro miliardi di tonnellate di rifiuti ogni anno [2], con le discariche ormai vicine alla saturazione e la crescente mancanza di spazi per costruirne di nuove. Inoltre, il tradizionale smaltimento in discarica non è più compatibile con l'emergenza climatica in atto, dato il suo elevato consumo energetico e le significative emissioni di anidride carbonica. A tutto questo si aggiunge una crescente carenza di materie prime, che rende sempre più urgente l'adozione di modelli economici circolari capaci di ridurre il consumo di risorse e minimizzare l'impatto ambientale.

In questo contesto, emerge una necessità imperativa: l'adozione di nuovi sistemi di gestione dei rifiuti orientati verso la sostenibilità, in modo da accelerare ed agevolare la transizione verso un modello economico circolare che possa ridurre il consumo di materie prime e l'impatto ambientale derivante dalla produzione, stoccaggio e smaltimento dei rifiuti.

In quest'ottica si inserisce la Direttiva Europea 2008/98/CE relativa proprio alla tematica dei rifiuti, la quale introduce la *Waste Hierarchy*, ovvero una vera e propria gerarchia di sostenibilità dei processi di gestione dei rifiuti. Tale gerarchia stabilisce che il riutilizzo rappresenta una delle strategie più sostenibili, subito dopo la prevenzione della creazione dei rifiuti stessi, e ne promuove quindi l'applicazione. Il perno di svolta diventa quindi il non considerare più i rifiuti come semplici scarti, ma piuttosto come un punto di partenza, come risorsa per la creazione di qualcosa di nuovo, in un'ottica appunto circolare.

Nel contesto architettonico, il riutilizzo degli elementi costruttivi e dei componenti edilizi diventa cruciale per contrastare la produzione massiccia di rifiuti derivanti dalle attività edilizie. In Europa infatti oltre il 37% dei rifiuti totali prodotti nel 2020 proviene da costruzioni, ristrutturazioni o demolizioni.

La presente tesi si focalizza sulla pratica del riutilizzo dei rifiuti da demolizione nel panorama svizzero, dove la demolizione è diffusa a causa della crescente necessità di spazi abitativi e dell'adeguamento degli edifici agli standard energetici e ambientali contemporanei.

Ogni giorno quindi numerosi edifici vengono demoliti per fare spazio a nuove costruzioni, generando ingenti quantità di rifiuti e, sebbene una significativa parte di questi rifiuti venga riciclata, in un contesto di emergenza climatica questa pratica non è più sostenibile.

Il riutilizzo dei rifiuti porterebbe benefici non solo dal punto di vista ambientale ma anche economico, con la creazione di nuove opportunità lavorative. Inoltre, il riutilizzo permette di preservare la storia, i valori e il *know-how* intrinseci negli edifici destinati alla demolizione, portando quindi anche dei benefit sociali.

In Svizzera, molti singoli e organizzazioni stanno già agendo per sensibilizzare e aumentare la consapevolezza della popolazione, cercando di contrastare questa pratica demolitiva. Un esempio tangibile di questi sforzi è l'associazione Countdown2030, che nel 2023 ha organizzato una mostra dedicata all'argomento delle demolizioni nella città di Basilea. Inoltre, l'associazione ha creato il primo atlante delle demolizioni, un vero e proprio archivio digitale che raccoglie dati storici e

fotografici sugli edifici demoliti o in procinto di essere demoliti. Queste iniziative mirano a documentare e illustrare il fenomeno delle demolizioni, promuovendo una maggiore consapevolezza e un dibattito pubblico sulla gestione sostenibile delle risorse edilizie. Ma per contrastare efficacemente le demolizioni e promuovere il riutilizzo circolare, è necessario che vengano adottate azioni concrete a livello politico e legislativo.

Nel panorama legislativo svizzero, e allo stesso modo in quello internazionale europeo, sono presenti numerose norme e raccomandazioni che promuovono la separazione dei materiali in cantiere di demolizione con l'obiettivo del riciclo, ma il concetto del riutilizzo viene spesso trascurato e/o omesso del tutto. Il medesimo problema è osservabile se si prendono in analisi gli standard e i protocolli di certificazione di compatibilità ambientale dei sistemi edilizi, per i quali il riutilizzo dei rifiuti, contrariamente all'impiego di materiali riciclati, non è un criterio esplicito. Normative chiare e incentivi mirati sono fondamentali per creare un ambiente indirizzato al riutilizzo e per ridurre l'impatto ambientale delle demolizioni.

In questo contesto, la tesi si propone di approfondire il concetto di riuso, fondamentale per il modello economico e di sviluppo circolare, esplorandone le possibilità e le sfide nell'applicazione. Queste difficoltà sono legate a vari fattori, tra cui le tecnologie costruttive, le dinamiche economiche e le abitudini socioculturali, come l'idea diffusa che i rifiuti siano necessariamente destinati allo smaltimento e che il nuovo sia sempre preferibile.

L'obiettivo della tesi è valutare la fattibilità del riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione, identificando i criteri e i fattori determinanti. Inoltre, la ricerca intende indagare l'esistenza di approcci e metodologie che possano sostenere questa valutazione.

In particolare, verrà analizzato l'approccio proposto dall'associazione svizzera Eco-bau per valutare il potenziale circolare delle costruzioni, applicandolo a un caso studio concreto: un appartamento situato in un edificio destinato alla demolizione nel Canton Zurigo.

L'obiettivo è comprendere se e come sia possibile prevedere, in anticipo, la quantità

di elementi che potranno essere recuperati (e quindi non diventare mai rifiuti, ma essere reimmessi in nuovi cicli di vita), quanto sia facile effettuare questa previsione e quali siano le problematiche associate. Si cercherà inoltre di valutare se le metodologie e gli approcci attualmente proposti siano sufficienti o presentino limitazioni, In questo contesto, la tesi si propone di approfondire il concetto di riuso, fondamentale per il modello economico e di sviluppo circolare, esplorandone le possibilità e le sfide nell'implementazione. Queste difficoltà sono legate a vari fattori, tra cui le tecnologie costruttive, le dinamiche economiche e le abitudini socioculturali, come l'idea diffusa che i rifiuti siano necessariamente destinati allo smaltimento e che il nuovo sia sempre preferibile. Nello specifico, l'obiettivo della tesi è valutare la fattibilità del riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione, identificando i criteri e i fattori che determinano se un determinato elemento o materiale possa essere riutilizzato. Inoltre, la ricerca intende indagare l'esistenza di approcci e metodologie che possano fungere da guida in questo processo.

In particolare, verrà analizzato l'approccio proposto dall'associazione svizzera Ecobau per valutare il potenziale circolare delle costruzioni, applicandolo a un caso studio concreto: un appartamento situato in un edificio destinato alla demolizione nel Canton Zurigo. L'obiettivo è comprendere se e come sia possibile prevedere, in anticipo, la quantità di elementi che potranno essere recuperati (e quindi non diventare mai rifiuti, ma essere reimmessi in nuovi cicli di vita), quanto sia facile effettuare questa previsione e quali siano le problematiche associate. L'obiettivo finale è promuovere la pratica del riuso e aumentare la consapevolezza e la conoscenza di questa strategia, affinché un numero sempre maggiore di figure professionali scelga di adottarla nei propri progetti.

**Parte I**

**Rifiuti da Costruzione e  
Demolizione**



# Capitolo 1

## Cos'è un Rifiuto? Definizioni e Pratiche di Gestione Sostenibile

### 1.1 Definizione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione

Nel corso degli ultimi decenni, si è assistito all'ascesa predominante di un modello economico basato sulla linearità, il consumo e lo spreco, orientato a massimizzare i profitti a discapito dell'ambiente e delle sue risorse. Questa tendenza ha portato a un crescente consumo di materie prime, le quali, una volta esaurite, si trasformano prontamente in rifiuti. Come riporta il documento "Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva" è previsto che entro il 2050 il mondo avrà consumato una quantità di materie prime pari a tre interi pianeti. Nello specifico, nei prossimi quarant'anni il consumo di materiali quali biomassa, metalli, minerali e combustibili fossili raddoppierà, mentre la produzione di rifiuti aumenterà del 70% [1].

Questa consapevolezza ha innescato un'emergenza non solo riguardante la sempre minor quantità disponibile di risorse ma anche legata alla problematica globale relativa alla produzione e gestione dei rifiuti.

Questo scenario ha sollecitato la necessità di rivalutare i nostri approcci alla produzione, al consumo e allo smaltimento dei materiali, spingendo verso soluzioni più sostenibili e orientate alla riduzione dello spreco. In poche parole, si richiede una trasformazione da un sistema economico lineare a uno circolare, dove i rifiuti non sono considerati semplicemente come scarti da smaltire, ma come materiali e risorse che possono essere utilizzati per creare nuovi prodotti.

Ma cos'è effettivamente un rifiuto? Quando si può definire tale un prodotto?

Innanzitutto, un rifiuto è identificato come un oggetto che non ha più un utilizzo noto o un valore economico, e pertanto deve essere smaltito.

Secondo la Direttiva 75/442/ della Comunità Economica Europea e la Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, per rifiuto si intende "qualsiasi sostanza o oggetto di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi secondo le disposizioni nazionali vigenti" [3] [4].

Similmente, la legge Federale Svizzera sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) definisce i rifiuti come "le cose mobili delle quali il detentore si libera o che devono essere smaltite nell'interesse pubblico" [5].

All'interno della Direttiva 75/442/CEE è riportato il Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER) o Elenco Europeo dei rifiuti (EER), il quale classifica ed elenca tutte le tipologie di rifiuti al fine di agevolarne lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento. I rifiuti sono catalogati secondo la loro origine e la loro pericolosità ed indicizzati attraverso dei codici a sei cifre, per un totale di oltre ottocento codici validi nell'intera Unione Europea. Il codice è composto da tre coppie di numeri, la cui prima indica il settore da cui deriva il rifiuto, la seconda la lavorazione subita e la terza indica le sostanze effettivamente contenute all'interno del rifiuto. Un asterisco posto alla fine del codice va a identificare i rifiuti pericolosi. In Svizzera, la classificazione dei rifiuti segue una normativa regolamentata dall'ordinanza sul traffico dei rifiuti (OTRif) del Dipartimento Federale dell'Ambiente, dei Trasporti, dell'Energia e delle Comunicazioni (DATEC).

L'elenco dei rifiuti presenta 851 voci e classifica i rifiuti similmente al sistema dell'Unione Europea, ovvero considerando il settore di provenienza e la pericolosità delle sostanze contenute nei rifiuti. Anche in questo caso, a ciascun tipo di rifiuto viene assegnato un codice a sei cifre, del quale la prima coppia va ad indicare proprio la provenienza del rifiuto.

**17 RIFIUTI DELLE OPERAZIONI DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE (COMPRESO IL TERRENO PRELEVATO DA SITI CONTAMINATI)**

17 01 cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche

17 01 01 cemento

17 01 02 mattoni

17 01 03 mattonelle e ceramiche

17 01 06\* miscugli o frazioni separate di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, contenenti sostanze pericolose

17 01 07 miscugli di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diversi da quelli di cui alla voce 17 01 06

17 02 legno, vetro e plastica

17 02 01 legno

17 02 02 vetro

17 02 03 plastica

Figura 1.1: Estratto del Catalogo Europeo dei Rifiuti, Fonte: [6].

I codici che presentano inizialmente la coppia 1 7 sono proprio i codici identificativi dei rifiuti da Costruzione e Demolizione.

Nello specifico, i rifiuti da Costruzione e Demolizione (abbreviati come C&D o semplicemente CD), che sono al centro di questo lavoro di tesi, sono quelli generati dalle attività di costruzione, demolizione e scavo. Questi comprendono una vasta gamma di materiali di diversa natura, prevalentemente non pericolosi.

Sia all'interno del CER che all'interno dell'Elenco Svizzero del DATEC, i rifiuti CD sono identificati da un codice avente come prima coppia di cifre 1-7, come osservabile dagli esempi riportati nelle figure 1.1 e 1.2.

Secondo i dati Eurostat relativi al 2020, In Europa sono stati prodotti 2153 milioni di tonnellate di rifiuti, dei quali il 37,5 % è costituito da solo materiale proveniente da attività di costruzione e demolizione, come mostrato nel diagramma della fig. 1.3. Inoltre, secondo il documento "un nuovo piano d'azione per l'economia circolare" redatto dall'Unione Europea, il settore delle costruzioni è responsabile del 50% di tutte le estrazioni di materie prime [1].

<b>17 01</b>	<b>Rifiuti edili di origine minerale (calcestruzzo di demolizione, materiale non bituminoso di demolizione delle strade e materiale di demolizione non separato)</b>
<b>17 01 01</b> [rnc]	<b>Calcestruzzo di demolizione</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calcestruzzo di demolizione in conformità con la Direttiva per il riciclaggio dei rifiuti edili minerali</li> <li>▪ Calcestruzzo di demolizione non inquinato e lievemente inquinato (Cfr aiuto all'esecuzione Determinazione delle sostanze nocive e le informazioni per lo smaltimento dei rifiuti edili)</li> </ul>
<b>17 01 02</b> [rnc]	<b>Mattoni</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tegole</li> </ul>
<b>17 01 07</b> [rnc]	<b>Materiale di demolizione non separato</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Miscela di rifiuti edili esclusivamente minerali, provenienti dalla demolizione di costruzioni di calcestruzzo, di mattoni (cotti o in silico-calcare) e di pietra naturale.</li> </ul>

Figura 1.2: Estratto classificazione svizzera dei rifiuti da costruzione e demolizione. Si nota come analogamente al CER, i rifiuti edili riportano come cifra iniziale il 17. Fonte immagine: [7]

In Svizzera, secondo l'ufficio federale dell'ambiente (UFAM), vengono prodotti annualmente 80-90 milioni di tonnellate di rifiuti, dei quali una grande percentuale riguardano i processi di demolizione di edifici, strade e ferrovie [9].

Il grafico della fig 1.5, mostra la quantità di rifiuti inceneriti in Svizzera in milioni di tonnellate per gli anni dal 1996 al 2019.

La maggior parte di questi rifiuti è costituita dai rifiuti domestici, provenienti dalle famiglie, seguiti subito dopo dai rifiuti provenienti dal settore delle costruzioni, che

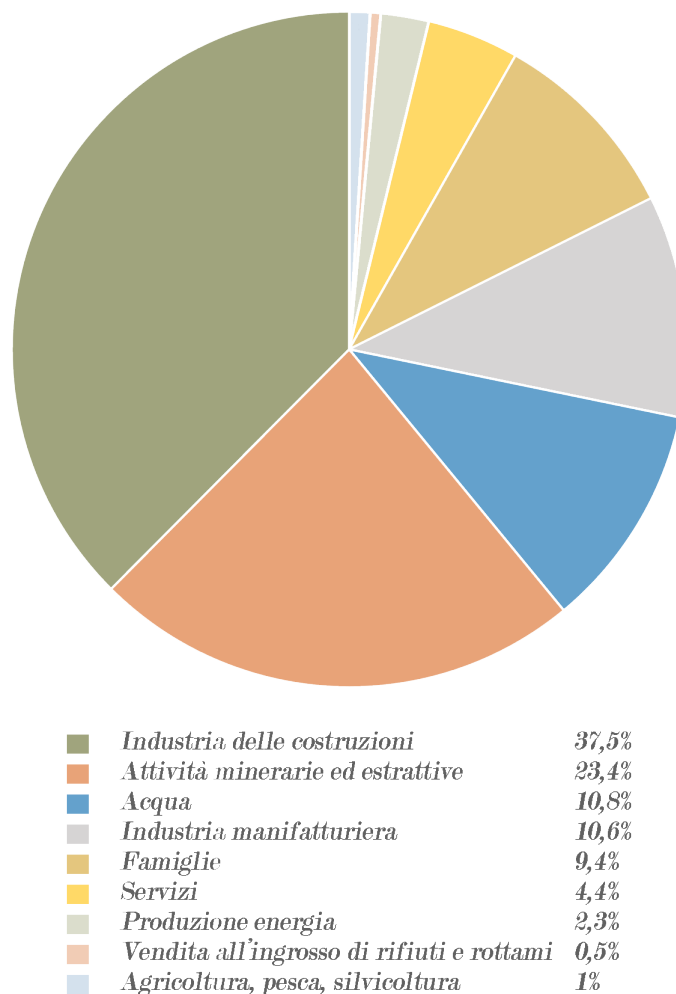


Figura 1.3: Produzione di rifiuti da parte di attività economiche e nuclei familiari, UE, 2020.

Si noti come i rifiuti derivanti dal settore delle costruzioni costituiscono più del 30% del totale dei rifiuti prodotti nell'anno 2020. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio Eurostat [8].

arrivano a valori di 0,5 tonnellate negli anni fra il 2016 e il 2019.

È rilevante notare inoltre che, come indicato nel grafico in fig. 1.4, prodotto a partire dai dati forniti proprio dall'Ufficio Federale dell'Ambiente, si sia verificato un costante aumento nella quantità dei rifiuti edili a partire dal 1996 fino al 2019. Inoltre, è importante sottolineare come nel grafico siano rappresentati solamente i

rifiuti edili che sono stati inceneriti, il che rappresenta perciò solo una piccola parte del totale dei rifiuti prodotti nel settore delle costruzioni.

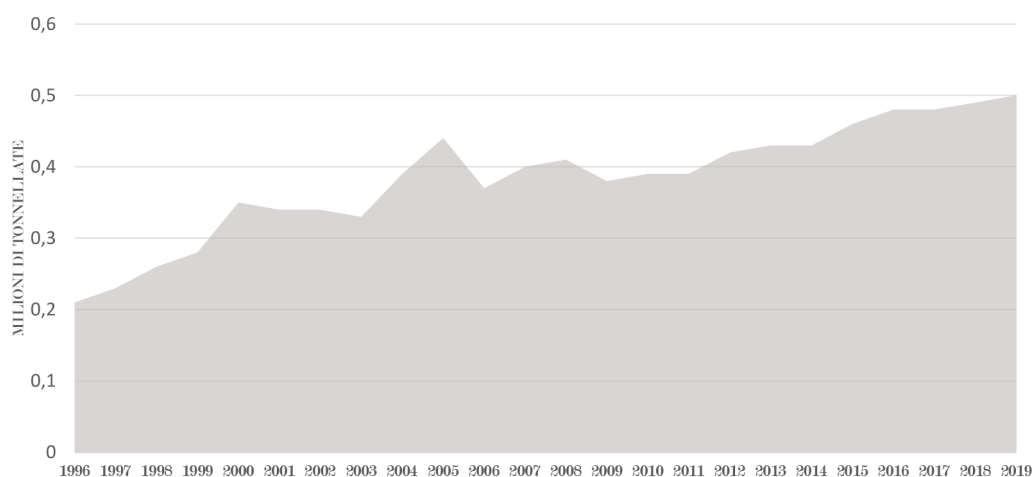


Figura 1.4: Quantità di rifiuti edili inceneriti dal 1996 al 2019.

In un periodo di tempo di ventitré anni si nota un trend in aumento dei rifiuti da CD inceneriti. Mentre nel 1996 si conta una quantità di poco più di 0,2 milioni di tonnellate, nel 2019 si giunge a 0,5 milioni di tonnellate. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio [10].

L'impatto ambientale associato al processo di incenerimento con conseguente recupero di energia è sicuramente inferiore rispetto al deposito in discarica, ma come verrà spiegato nella sezione 1.2, rappresenta comunque una delle opzioni di gestione meno sostenibili dal punto di vista ambientale. Oltretutto, la crescente quantità di rifiuti è indicativa del consumo sempre più elevato di materie prime, le quali sono disponibili in quantità sempre minori.

Avendo chiaro l'urgente problema del crescente volume di rifiuti, strettamente legato al consumo e al conseguente esaurimento delle risorse primarie, emerge la necessità di riconsiderare il nostro atteggiamento nei confronti della gestione dei rifiuti, abbracciando un nuovo modello sostenibile.

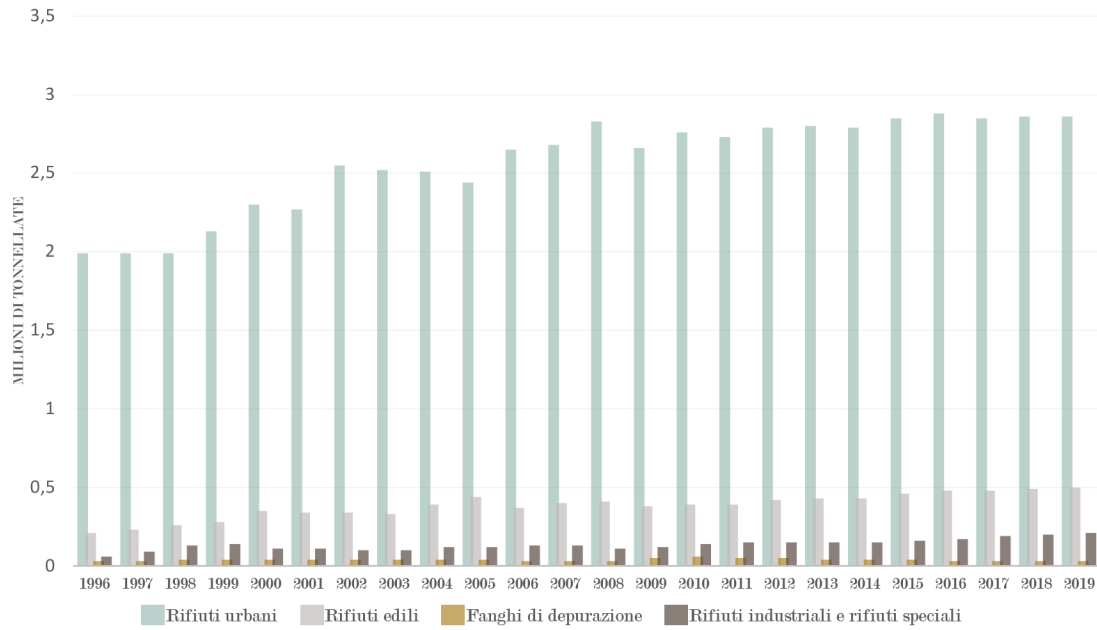


Figura 1.5: Quantità di rifiuti inceneriti dal 1996 al 2019 divisi per categorie. La quantità maggiore di rifiuti inceneriti è costituita dai rifiuti urbani seguiti immediatamente dopo dai rifiuti edili, che contano nell'anno 2019 una quantità di 0,5 milioni di tonnellate. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio [10].

## 1.2 Gestione Sostenibile dei Rifiuti: Analisi della Waste Hierarchy

L'enorme quantità di rifiuti generati negli anni ha portato molte discariche a raggiungere la loro capacità massima e la ricerca di aree adatte per la creazione di nuovi luoghi di stoccaggio di rifiuti sta diventando sempre più difficile, senza considerare l'enorme impatto ambientale che questi avrebbero sull'ambiente.

Diventa evidente quindi come una gestione sostenibile dei rifiuti sia una necessità sempre più attuale e possa configurarsi oltretutto come una strategia centrale nel ridurre la quantità di rifiuti prodotti e limitare il consumo di materie prime.

In ambito europeo, la Direttiva 2008/98/CE definisce la gestione dei rifiuti come "la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compresi la supervisione di tali operazioni e gli interventi successivi alla chiusura dei siti di smaltimento nonché le operazioni effettuate in qualità di commercianti o intermediari" [4], mentre la Direttiva 75/442/CE stabilisce che il termine smaltimento si riferisce a [3] :

1. la raccolta, la cernita, il trasporto, il trattamento dei rifiuti nonché l'ammasso e il deposito dei medesimi sul suolo o nel suolo;
2. le operazioni di trasformazione necessarie per il riutilizzo, il recupero o il riciclo dei medesimi;

Al fine di ridurre gli impatti negativi delle cattive gestioni dei rifiuti sull'ambiente e sulla salute umana, la sopracitata direttiva (98/2008/CE) introduce, attraverso l' Articolo 4, la cosiddetta *Waste Hierarchy* , ovvero la Gerarchia dei rifiuti.

Suddetta gerarchia stabilisce un ordine di priorità di ciò che costituisce la migliore opzione ambientale per il trattamento dei rifiuti [4], e viene introdotta per facilitare l'avvicinamento degli Stati Membri dell'UE ad una società dove il rifiuto è visto come risorsa.





Figura 1.6: Piramide della Gestione delle Risorse secondo la Direttiva dell'Unione Europea 2008/898/CE.

L'ordine di priorità che si ritrova nella gerarchia è definito come il seguente:

- Prevenzione
- Preparazione per il riutilizzo
- Riciclaggio
- Recupero di altro tipo, per esempio recupero di energia
- Smaltimento

Questo elenco prioritario è raffigurato attraverso una piramide rovesciata, come mostrato nella fig. 1.6. Proprio per questo motivo la Gerarchia viene spesso chiamata con l'appellativo di "*piramide della sostenibilità*", la quale risulta visivamente efficace nel rappresentare un ordine di preferibilità.

Analizzando le sezioni della piramide, notiamo che alla base sono collocate le pratiche di gestione più sostenibili e, di conseguenza, da privilegiare. Al contrario, verso la cima sono elencate le opzioni meno virtuose che dovrebbero avere la minima priorità quando si tratta di prendere decisioni.

- Prevenzione ( *Prevention* ). Consiste in quella gestione che prevede qualunque azione intrapresa prima che un prodotto, sostanza o materiale diventi rifiuto [2].

Il concetto di prevenzione è delineato nell'Articolo 9 e abbraccia tutte le azioni volte a evitare o ridurre sin dalla fonte la generazione dei rifiuti e il loro volume. Prevenire la formazione di rifiuti implica, ad esempio, evitare l'utilizzo di prodotti monouso, promuovere l'adozione di articoli a lunga durata o facilmente riciclabili.

In ambito architettonico la prevenzione si traduce in una progettazione adattiva e atta a facilitare la decostruzione. Il fine è quello di creare edificio capace di adattarsi e rispondere in modo flessibile ai cambiamenti, ad esempio in termini di funzionalità. Inoltre, l'edificio deve essere progettato in modo da facilitarne il futuro disassemblaggio e il recupero dei materiali utilizzati, al fine di non generare ulteriori rifiuti;

- Riutilizzo o Riuso ( *Re-use* ). Questa gestione rappresenta una qualsiasi operazione attraverso la quale si riusa un prodotto o un componente per lo stesso scopo che aveva inizialmente o per uno differente [2]. Il riuso porta quindi al prolungamento della vita utile di un oggetto o materiale , il quale invece di essere smaltito mantiene il suo valore e le sue proprietà fisiche, meccaniche, chimiche e tecniche, senza contare il saper fare e le conoscenze intrinseche . In ambito architettonico, il riutilizzo è strettamente legato a tutte le fasi che caratterizzano un edificio, dalla progettazione alla demolizione. Per consentire il riutilizzo dei materiali o degli elementi, è necessario adottare i principi della progettazione circolare. Questo implica un design flessibile, in grado di adattarsi nel tempo a diverse possibili destinazioni d'uso, e un approccio orientato alla decostruzione, con l'obiettivo di re-impiegare i componenti edilizi in nuovi cicli di vita, contribuendo così a ridurre le quantità di rifiuti derivanti dai processi di demolizione o adattamento;

- Riciclo ( *Recycling* ). Si intende qualsiasi processo mediante il quale i rifiuti

vengono trasformati in prodotti, materiali o sostanze utilizzabili per gli stessi scopi originali o per altri [2].

Durante il riciclo, i rifiuti vengono sottoposti a trattamenti specifici che comportano un notevole dispendio d'energia ed importanti immissioni di anidride carbonica in atmosfera. Proprio per questa motivazione, questa gestione viene collocata nella parte centrale della piramide di preferibilità;

- Recupero di energia ( *Recovery* ). Si tratta in sostanza della gestione che prevede il recupero dell'energia di *feedstock*, ovvero il quantitativo di energia necessaria per la produzione e trasformazione delle materie prime in prodotti finiti. Questo recupero avviene grazie al processo di termo-valorizzazione, per il quale i rifiuti vengono bruciati ad alte temperature. Durante la combustione, l'energia termica prodotta viene utilizzata per generare vapore, che a sua volta viene impiegato per la produzione di energia elettrica. In alcuni casi, l'energia termica può essere utilizzata anche per scopi di riscaldamento o per processi industriali;
- Smaltimento ( *Disposal* ). Si tratta della gestione meno preferibile, caratterizzata quindi dalla priorità più bassa. Con smaltimento si intende tutte le operazioni che in generale non prevedono in alcun modo il recupero di materiali o elementi [2];

## Capitolo 2

# Quadro Normativo e Linee Guida sui Rifiuti C&D nel Contesto Europeo e Svizzero

Come visto nel capitolo precedente, esistono diverse strategie di gestione dei rifiuti, ciascuna con un diverso grado di sostenibilità.

In questo contesto, è di primaria importanza comprendere il ruolo fondamentale che la legislazione e la politica giocano nel guidare le decisioni verso una transizione dal modello tradizionale di produzione-consumo-smaltimento a un modello circolare basato sul riuso.

Sia nel contesto dell'Unione Europea che in quello svizzero, sono state sviluppate e messe a punto politiche, linee guida, norme e direttive specifiche per promuovere una gestione dei rifiuti più sostenibile, con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale. Tuttavia, soprattutto nell'ambito delle costruzioni, manca ancora un quadro normativo chiaramente orientato a regolamentare e indirizzare in modo predominante verso il riutilizzo dei rifiuti come componenti da integrare in nuovi progetti edilizi.

Spesso, il riutilizzo viene presentato di sfuggita come un'alternativa al riciclo, senza

invece presentarlo come l'opzione da effettivamente preferire. Questo è probabilmente in gran parte dovuto alla limitata esperienza e conoscenza nel campo del riutilizzo dei rifiuti come elementi da costruzione, mentre i processi di riciclo sono più consolidati e affidabili.

In questo capitolo, verranno esaminate le principali direttive e norme del panorama svizzero ed europeo, al fine di fornire una panoramica esaustiva del quadro normativo attuale.

## **2.1 Direttiva 2008/98/CE**

Nel contesto europeo, la tematica dei rifiuti comincia ad essere discussa a partire dagli anni Settanta, precisamente nel 1975, quando viene emessa la prima Direttiva riguardante i rifiuti, ovvero la 75/442/CEE.

Quest'ultima ha come fine ultimo quello di regolare lo smaltimento dei rifiuti e promuovere il recupero dei materiali e l'uso delle risorse riciclate per preservare le risorse naturali [3].

Il documento introduce quindi i concetti e le disposizioni che saranno successivamente ampliati e sviluppati nella Direttiva 2008/98/CE.

Come accennato in precedenza nel paragrafo 1.1, la Direttiva 2008/98/CE, così come quella del 1975, stabilisce una classificazione specifica per i rifiuti derivanti dalle attività di costruzione e demolizione, identificandoli mediante un codice a sei cifre.

Inoltre, mentre la definizione di rifiuto rimane invariata fra le due direttive, vengono introdotti nuovi concetti, come quelli di sottoprodotto e di cessazione della qualifica di rifiuto.

Questi sviluppi rappresentano un passo significativo nell'Unione Europea, in quanto hanno avuto un ruolo chiave nello spostare l'attenzione verso una gestione più consapevole e sostenibile dei rifiuti, che guardi al recupero e al riutilizzo dei materiali, al fine di preservare le risorse naturali.

Nello specifico, nell'articolo 5 viene definito un sottoprodotto come "una sostanza od oggetto derivante da un processo di produzione il cui scopo primario non è la produzione di tale articolo" [4] che soddisfi determinati condizioni come:

- è certo che la sostanza o l'oggetto sarà ulteriormente utilizzata/o;
- la sostanza o l'oggetto può essere utilizzata/o direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- la sostanza o l'oggetto è prodotta/o come parte integrante di un processo di produzione;
- l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana [4];

L'identificazione di determinati oggetti o sostanze come sottoprodotti anziché rifiuti, eseguita seguendo obbligatoriamente determinate misure e criteri specifici, riveste un'importanza fondamentale poiché apre la possibilità di reintegrarli in un nuovo ciclo produttivo, evitando così la necessità di sottoporli al processo di smaltimento dei rifiuti.

All'interno dell'articolo 6 viene invece spiegato il concetto di cessazione della qualifica di rifiuto (*End of Waste*), per il quale il rifiuto stesso torna ad essere giuridicamente considerato un prodotto.

Questo concetto risulta essere chiave nel comprendere e regolare i processi di riciclaggio e di riutilizzo dei rifiuti generali e di quelli provenienti da costruzione e demolizione.

Secondo la Direttiva, i rifiuti cessano di essere tali successivamente all'essere sottoposti ad un processo di recupero e soddisfino determinati criteri, quali [4]:

- la sostanza o l'oggetto viene utilizzata/o per scopi specifici;
- esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;

- la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti;
- l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti negativi sull'ambiente o sulla salute umana;

Proseguendo con la Direttiva, altri articoli importanti sono i seguenti:

- Art. 4. Con questo articolo viene introdotto il concetto di gerarchia dei rifiuti, analizzata nel dettaglio nel capitolo 1.2
- Art. 11. All'interno di tale articolo si trovano indicazioni relative alle operazioni di riutilizzo e di riciclo dei rifiuti come per esempio nel punto 1, dove si sottoscrive come gli Stati membri debbano adottare le misure necessarie "per promuovere il riutilizzo dei prodotti (...) favorendo la costituzione e il sostegno di reti di riutilizzo e di riparazione" [4].

## 2.2 Protocollo UE per la Gestione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione

Nel settembre 2016, l'Unione Europea ha rilasciato il Protocollo per la Gestione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione con lo scopo di migliorare la fiducia nel processo di gestione dei rifiuti CD e nella qualità dei materiali riciclati derivanti [11]. Secondo il protocollo infatti, l'ostacolo principale nel riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione è rappresentato dalla scarsa fiducia in quest'ultimi, dovuta alle incertezze riguardanti la qualità e la sicurezza dei materiali recuperati. Questo si traduce in una domanda limitata e di conseguenza, in uno sviluppo di mercato ridotto.

A partire da queste premesse quindi, il protocollo delinea una serie di obiettivi attraverso l'applicazione dei quali si potrà arrivare ad una maggiore fiducia e consapevolezza nel riutilizzo e riciclo di tali rifiuti. Tali obiettivi sono [11]:

1. Migliore identificazione, separazione e raccolta
2. Migliore logistica
3. Migliore trattamento
4. Gestione della qualità
5. Condizioni politiche e condizioni quadro adeguate

Il primo obiettivo rappresenta il passo iniziale fondamentale verso una gestione più sostenibile dei rifiuti, ovvero una gestione che preveda il riciclo e il riuso.

Il protocollo sostiene che, per identificare e separare in modo ottimale l'insieme di rifiuti generati da un progetto di demolizione, ristrutturazione o costruzione, sia necessario attuare una serie di attività preliminari volte alla pianificazione e gestione dei vari processi.

Innanzitutto, è fondamentale condurre una cosiddetta verifica pre-demolizione ( *pre-demolition audit* ), detta anche verifica dei rifiuti, necessariamente eseguita da



un esperto qualificato, a monte di qualsiasi operazione di demolizione e/o ristrutturazione. Tale verifica va eseguita per ogni materiale o elemento da riutilizzare o riciclare, come anche per i rifiuti pericolosi [11].

Tale verifica pre-demolizione si delinea quindi come passaggio di estrema importanza, in quanto fornisce come output una serie di informazioni dettagliate sulla quantità, qualità e posizione all'interno dell'edificio o dell'infrastruttura di tutti i materiali e/o elementi presenti [11].

Grazie a queste informazioni, sarà quindi possibile comprendere preventivamente quali materiali debbano essere separati perché potenzialmente pericolosi, quali possano essere riciclati e quali invece riutilizzati. Ciò consentirà di procedere con una conseguente corretta decostruzione e smantellamento.

Contemporaneamente alla verifica pre-demolizione, è necessario redigere un piano di gestione dei rifiuti che contenga informazioni su come le diverse fasi di demolizione saranno gestite, quali materiali saranno raccolti, dove e come saranno trasportati e a quale trattamento saranno successivamente sottoposti [11].

Il protocollo riporta inoltre come sia necessario separare i materiali il più possibile durante il processo di demolizione o costruzione, affinché si possa garantire la qualità dei materiali riciclati [11].

E' bene notare come tale separazione possa variare in termini di complessità a seconda delle caratteristiche dell'edificio e del grado di connessione tecnologica dei materiali (ad esempio, diventa più complesso quando essi sono incollati tra di loro). Inoltre, al fine di aumentare le possibilità di riutilizzo, il protocollo sottolinea come bisogna prendere in considerazione l'approccio della demolizione selettiva manuale, che può essere applicata a diversi materiali, tra cui vetro e legno (per esempio quello pregiato come il noce e il rovere), nonché a elementi come sanitari, caldaie, finestre, telai, strutture in acciaio e materiali di rivestimento.

Una volta completata l'operazione di demolizione, ristrutturazione o costruzione, è fondamentale che l'impresa coinvolta fornisca un resoconto completo di ciò che è stato raccolto in sito.

Questo resoconto dovrà includere informazioni dettagliate su dove sono stati trasportati i materiali per il riciclo, quelli destinati al riuso e quelli che richiedono una gestione differente, come l'incenerimento o come la messa in discarica.

Il secondo obiettivo riguarda il miglioramento della logistica. In questo caso il protocollo si focalizza sui concetti di trasparenza, tracciamento e rintracciabilità. Viene posto l'accento su come sia preferibile trasportare i rifiuti presso impianti di selezione e riciclaggio che non siano distanti più di 35 km, poiché mantenere brevi distanze non solo comporta vantaggi economici, ma contribuisce anche a ridurre il complessivo impatto ambientale. Inoltre, bisogna garantire la qualità dei materiali durante il trasporto, l'eventuale immagazzinamento e lo stoccaggio.

Il terzo punto, il quale concerne il miglioramento dei processi di trasformazione e trattamento dei rifiuti, pone l'attenzione su come sia preferibile il riutilizzo sul riciclo, perché, come anche spiegato nella sezione del capitolo 1.2, esso comporta un maggiore vantaggio ambientale. Inoltre viene sottolineato come sia necessario cercare di riutilizzare, per quanto possibile, i materiali in loco, destinandoli per esempio a nuove costruzioni.

Il quarto punto si riferisce al raggiungimento di una migliore gestione e, di conseguenza, di una migliore qualità, aspetto di fondamentale importanza per aumentare la fiducia generale verso i rifiuti CD, così da poter orientare il mercato verso l'utilizzo di materiali da costruzione recuperati.

Questo obiettivo può essere realizzato mediante l'introduzione di strumenti di controllo e gestione della qualità che coprano tutte le fasi di costruzione o demolizione.

Nel quinto e ultimo punto si sottolinea la necessità di condizioni politiche e quadri normativi adeguati.

Di fatto, una gestione efficiente e sostenibile dei rifiuti CD può essere realizzata solamente attraverso un adeguato quadro legislativo, sia a livello nazionale che regionale e comunale, che fornisca gli incentivi necessari per promuovere una scelta

sostenibile. Allo stesso tempo, le norme dovrebbero scoraggiare ad esempio lo smaltimento in discarica, agendo tramite divieti o tassazioni più elevate.

## **2.3 Orientamenti per Le Verifiche Dei Rifiuti Prima dei Lavori di Demolizione e di Ristrutturazione degli Edifici**

Il documento "Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori di demolizione e di ristrutturazione degli edifici" viene pubblicato dall'Unione Europea nel maggio del 2018 e fornisce indicazioni sulle migliori pratiche per valutare i flussi di rifiuti derivanti dalla costruzione e demolizione prima di procedere alla demolizione o alla ristrutturazione di edifici e infrastrutture.

Suddetta valutazione non è altro che la verifica pre-demolizione, operazione già introdotta nella sezione precedente 2.2. Come già sostenuto, essa consiste in una fase specifica della pianificazione dei rifiuti e va ad offrire una serie di vantaggi economici ed ambientali, tra i quali [6]:

- accrescimento della consapevolezza
- semplificazione dei processi di tracciabilità
- conseguimento di una qualità ambientale superiore
- identificazione di lotti di materiali di qualità tecnica superiore, i quali possono essere oggetto di riuso.

In generale, il documento sottolinea l'importanza cruciale delle verifiche preliminari alla demolizione. L'obiettivo principale di queste verifiche è fornire una visione dettagliata dell'edificio o dell'infrastruttura che verrà demolita, consentendo una stima precisa sia quantitativa che qualitativa dei materiali e dei rifiuti prodotti a seguito delle operazioni di demolizione [6]. Questa metodologia, descritta nel documento e nel Protocollo per la Gestione dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione, sarà ripresa in questa tesi nel capitolo 6.1 poiché permette di identificare risorse recuperabili e valutare così il potenziale di riuso dei componenti edilizi.

## **2.4 Ordinanza Svizzera sulla Prevenzione e Smaltimento dei Rifiuti OPSR**

Nel panorama legislativo svizzero, un documento di fondamentale importanza per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, nonché di altri tipi, è l'OPSR, cioè l'Ordinanza per la Prevenzione e lo Smaltimento dei Rifiuti.

Entrata in vigore nel gennaio 2016, tale ordinanza mira a tutelare l'uomo, la fauna, la flora, il suolo, l'acqua e l'aria dagli impatti dannosi derivanti appunto dai rifiuti. Di conseguenza, essa promuove una gestione sostenibile di quest'ultimi, regolamentandone la prevenzione e lo smaltimento [12].

All'interno dell'Articolo 3 sono presenti le varie definizioni di rifiuti, compresi quelli edili, che vengono identificati come tutti quei rifiuti derivanti da lavori di costruzione, ristrutturazione o demolizione [12], definizione analoga a quella delineata precedentemente nel paragrafo 1.1 per quanto riguarda il panorama europeo.

Nell'Art.4 della stessa Ordinanza, si stabilisce che ciascun Cantone deve sviluppare un piano di gestione dei rifiuti. Questo piano, tra le varie informazioni previste, deve contenere dettagli riguardanti le strategie per il riciclaggio e la prevenzione dei rifiuti [12]. Inoltre, è previsto che, se necessario, il piano debba essere revisionato e aggiornato ogni 5 anni.

Entrando nello specifico nella tematica dei rifiuti edili, risultano rilevanti gli articoli 17, 19 e 20.

L'articolo 17 tratta della corretta separazione e smaltimento dei rifiuti derivanti dalle attività edili. Si specifica, ad esempio, che il materiale di scavo e sgombero non contaminato deve essere correttamente separato, così come l'asfalto e il calcestruzzo provenienti da demolizione, al fine di agevolarne il riciclaggio [12].

L'articolo 19 si concentra principalmente sul materiale di scavo e sgombero, sottolineando l'importanza del suo riutilizzo come materiale da costruzione, materia prima o materiale da riempimento, preferibilmente nello stesso sito di demolizione o nelle immediate vicinanze [12].

L'articolo 20 è specificamente dedicato ai rifiuti minerali derivanti dalle demolizioni che, dal punto di vista quantitativo, rappresentano la maggior parte dei rifiuti C&D. Questo articolo tratta in maniera non troppo dettagliata come procedere a seconda dei diversi materiali, ad esempio con il calcestruzzo che deve essere riciclato nella massima misura possibile per essere utilizzato come materia prima nella costruzione [12].

## **2.5 Normativa SIA 430 per Lo Smaltimento dei Rifiuti Edili**

Le norme SIA rappresentano linee guida stabilite dall'Associazione Svizzera degli Architetti e degli Ingegneri e hanno validità a livello nazionale. Queste norme possono riguardare aspetti tecnici, contrattuali o fornire raccomandazioni utili per la comprensione di varie pratiche.

Per il presente lavoro di ricerca, risulta interessante la norma SIA 430, la quale si occupa della gestione dei rifiuti provenienti dalla costruzione, trasformazione e demolizione degli edifici.

Esistono due versioni di questa norma, una datata 1993 e l'altra aggiornata ad agosto 2023.

La prima edizione si concentra principalmente sul riciclo, senza apportare contributi significativi alla regolamentazione del riuso. Al contrario, la versione più recente rappresenta un notevole avanzamento, poiché introduce concetti legati all'economia circolare e al riutilizzo dei rifiuti provenienti dalla costruzione e demolizione.

L'obiettivo della nuova norma SIA 430 è testualmente quello di "rendere più sostenibile il ciclo dei materiali da costruzione facendo leva sul potenziale di riutilizzo delle parti costruttive e incentivando in massima misura la reintroduzione dei rifiuti edili nel ciclo dei materiali" [13]. Inoltre la norma sottolinea come ci saranno ulteriori chiarimenti in futuro proprio circa l'ambito dell'economia circolare.

E' chiaro come questa riscrittura del 2023 rispetto a quella del 1993 rifletta un cambiamento di prospettiva, considerando i rifiuti non più come un problema, ma come una risorsa. Questo concetto emerge, ad esempio, dalla sostituzione del termine "rifiuti di demolizione" con "materiale di demolizione".

Un'altra modifica significativa vede la norma stabilire che tutte le parti potenzialmente riutilizzabili debbano essere identificate e catalogate. Inoltre, viene richiesta la stesura di un piano di smaltimento che non solo includa informazioni sulle quantità, qualità e tipologie delle parti, ma comprenda anche descrizioni dei compiti e delle responsabilità coinvolte, insieme a una stima dei costi di smaltimento.

Questi nuovi requisiti mostrano una convergenza con il Protocollo Europeo per la gestione dei rifiuti CD e con la già citata verifica pre-demolizione, evidenziando l'orientamento comune verso pratiche di gestione di rifiuti più sostenibili e consapevoli [13].



## Capitolo 3

# Svizzera: L'abitudine alla Tabula Rasa – Analisi del Patrimonio Edilizio e delle Operazioni di Demolizione

### 3.1 Il Patrimonio Edilizio Svizzero

In Svizzera, il settore delle costruzioni ha un'importanza economica significativa per la società.

La crescita demografica dovuta dall'attuale situazione economica favorevole e la necessità di modernizzare e adattare le infrastrutture esistenti hanno generato una grande domanda di nuove costruzioni, tanto che nel 2020 il settore edile ha contribuito al 9,4% del prodotto interno lordo dell'intero paese [14].

Questo fenomeno costruttivo si sviluppa parallelamente ad un panorama immobiliare esistente il quale, secondo uno studio condotto da Wüest&Partner per conto dell'UFAM (Ufficio Federale dell'Ambiente), conta circa 4.1 miliardi di metri cubi di edificato [15].

La decisione di intraprendere un processo di demolizione, come si vedrà nel dettaglio nel paragrafo successivo, è influenzata da diversi fattori, tra cui la scarsità di spazio per nuove costruzioni che si verifica nei cantoni ad alta densità abitativa e in rapida crescita demografica, proprio come quello di Zurigo.

Come osservabile dal grafico in figura 3.1, il Cantone Zurigo emerge insieme al Cantone Berna come il più costruito, andando a rappresentare il 29% del patrimonio edilizio svizzero [15]. E' proprio a causa della limitata disponibilità di spazio in città che si sta registrando un aumento delle attività demolitive.

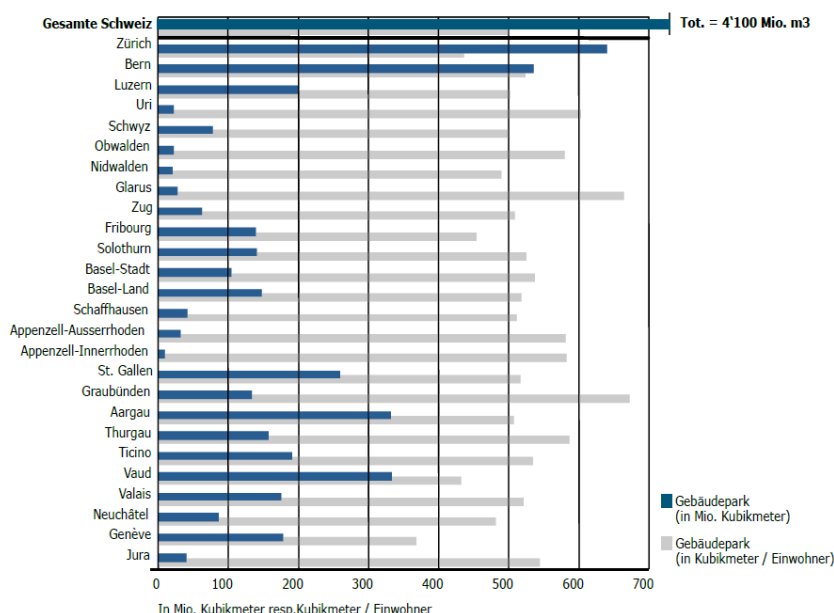


Figura 3.1: Patrimonio edilizio nei Cantoni.

Il Cantone Zurigo risulta essere quello con la maggiore densità di volume costruito, contando oltre 600 milioni di metri cubi. Fonte immagine: [15]

Altro elemento sicuramente determinante, che verrà anch'esso analizzato nel dettaglio nel paragrafo successivo, è rappresentato dall'età delle costruzioni.

Secondo i dati dell'Ufficio Federale di Statistica, sia il patrimonio immobiliare svizzero che nello specifico quello del Canton Zurigo sono principalmente costituiti da abitazioni costruite nel secondo dopoguerra, riflettendo probabilmente l'espansione economica e l'aumento della popolazione durante quegli anni.

Questo è osservabile nel grafico in fig. 3.2 che mostra la percentuale di edifici costruiti in diversi periodi di tempo sia in Svizzera che appunto nel Canton Zurigo.

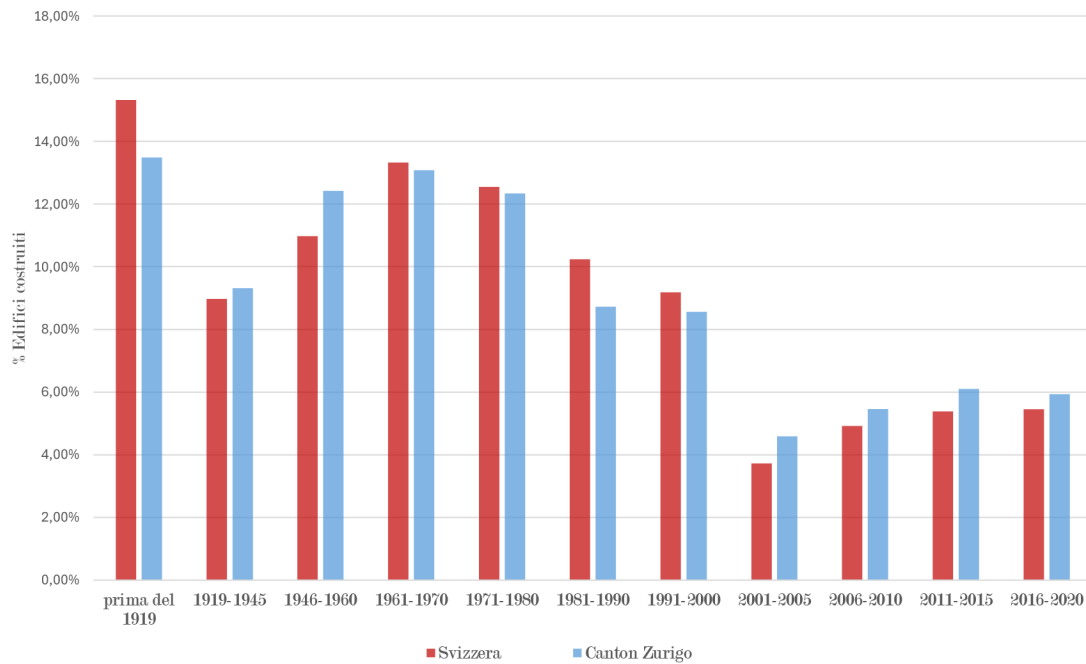


Figura 3.2: Edifici costruiti in Svizzera e nel Canton Zurigo secondo l'epoca di costruzione.

Il grafico evidenzia che sia in Svizzera che nel Canton Zurigo la maggior parte degli edifici è stata costruita tra il 1946 e il 1980. Fonte: elaborazione personale sulla base dei dati dell'ufficio Federale di Statistica Svizzero (UST) aggiornati a dicembre 2020 [16].

Risulta fondamentale avere una chiara comprensione dell'età media del patrimonio edilizio svizzero poiché questo fornisce indicazioni preziose sulle tecniche costruttive utilizzate e sui materiali presenti all'interno delle strutture.

Conoscere l'epoca di costruzione degli edifici permette di prevedere con maggiore precisione le caratteristiche e le potenziali problematiche legate ad interventi di decostruzioni, facilitando così l'eventuale recupero di materiali o componenti.

Negli edifici più antichi è comune trovare una struttura portante realizzata in

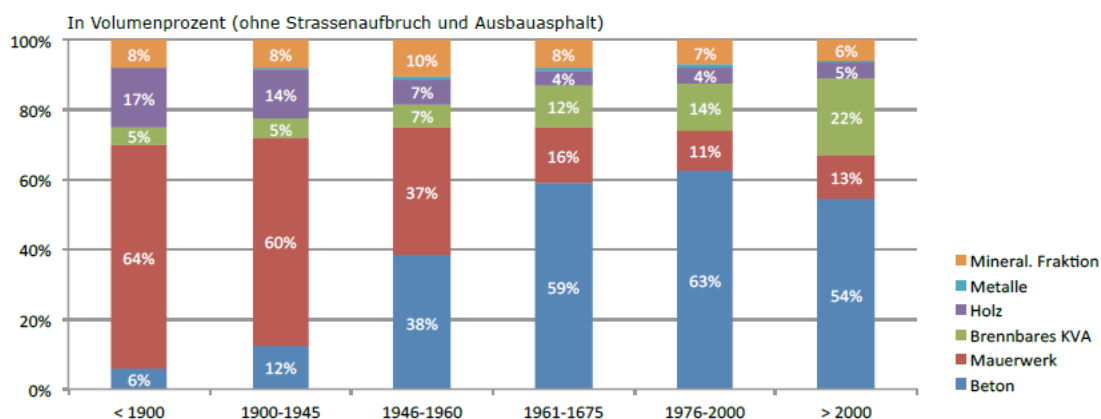


Figura 3.3: Tipologia di materiali da costruzione in relazione alle classi d'età degli edifici.

Si osserva come la muratura e il calcestruzzo (in tedesco: *Mauerwerk* e *Beton*) sono i materiali da costruzione con la percentuale di utilizzo più elevata, rispettivamente nel periodo compreso tra il 1900 e il 1960 e tra il 1960 e il 2000. Fonte immagine: [15].

muratura o legno, mentre in quelli relativamente più recenti prevale l'uso di strutture in muratura o, ancor più comune, in calcestruzzo.

Per comprendere meglio, il grafico della figura 3.3 rappresenta la percentuale d'uso dei materiali da costruzione nel corso del tempo, a partire dal 1900 fino ai giorni odierni.

Si osserva come per gli edifici costruiti nel periodo compreso tra il 1946 e il 1960, sia il calcestruzzo che la muratura hanno una percentuale di utilizzo abbastanza simile, rappresentando rispettivamente il 38% e il 37% dei materiali impiegati. Nei successivi quaranta anni, ovvero dal 1960 al 2000, si osserva una diminuzione abbastanza importante dell'uso della muratura, che passa da una percentuale del 37% all'11%. Si nota come invece continua ad essere sempre più usato il calcestruzzo, il quale aumenta la sua percentuale d'impiego fino al 63%. Durante questo stesso periodo, gli altri materiali come il legno e il metallo sono invece scarsamente utilizzati nella costruzione degli edifici.

In generale però è importante notare come la percentuale più elevata di utilizzo

rimane sempre quella del calcestruzzo, che negli ultimi venti anni rappresenta il 54% dei materiali impiegati.

Oggi giorno infatti, come precedentemente accennato, la maggioranza degli immobili presenta componenti portanti come solai, parete e fondazioni in calcestruzzo, e questo fa sì che il suddetto materiale predomini sugli altri sia in termini di peso che di volume.

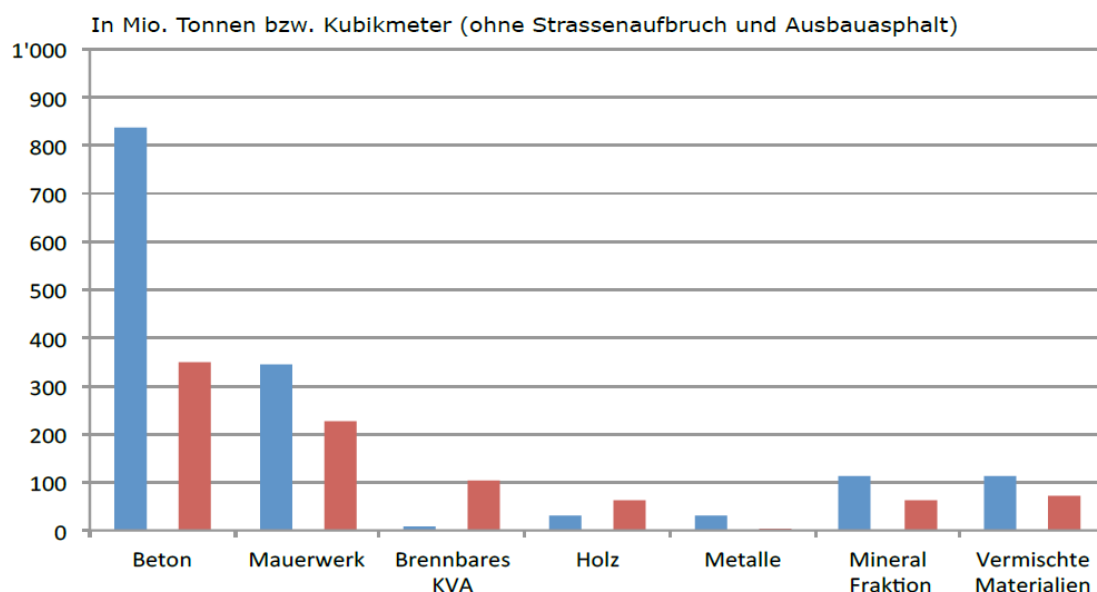


Figura 3.4: Materiali da costruzione presenti nel panorama svizzero.

L'istogramma illustra la quantità di diversi materiali da costruzione utilizzati nel contesto edilizio svizzero, sia in metri cubi che in milioni di tonnellate. Il calcestruzzo emerge come il materiale più presente, superando le 800 milioni di tonnellate. Fonte immagine: [15]

Come mostrato nel grafico 3.4 si parla di oltre 800 milioni di tonnellate di calcestruzzo presenti nel panorama delle costruzioni svizzere. La prevalenza del calcestruzzo rappresenta un ostacolo significativo alla diffusione della pratica del riuso in Svizzera poiché il materiale è attualmente difficilmente compatibile con le tecnologie attuali che consentono la decostruzione di elementi strutturali senza danneggiarli.

## 3.2 Le Operazioni di Demolizione

Un articolo del Giornale dell'Architettura, definisce la Svizzera come "un paese di demolitori" [17], in riferimento alla diffusa tendenza alla *Tabula rasa*, cioè all'abitudine di abbattere interi edifici per sostituirli con nuove costruzioni, ignorando completamente operazioni di ripristino o restauro.

Questa tendenza è restituita dall'Atlante delle Demolizioni, un'importante risorsa interattiva che raccoglie informazioni dettagliate su tutti gli edifici demoliti, o in fase di demolizione, presenti nel territorio svizzero.

Tale risorsa è curata dall'associazione Countdown2030, che si propone testualmente di "rendere tangibili le dimensioni delle demolizioni in Svizzera e raccontare le storie individuali delle case scomparse" [18] allo scopo di mettere in evidenza ed in discussione la pratica demolitiva grazie al forte impatto visivo ed emotivo della mappa.

Questa rappresentazione trasforma il fenomeno delle demolizioni in qualcosa di più che una questione "solamente" economica e ambientale: essa ne svela infatti anche la dimensione storica e culturale.

Scorrendo la galleria dell'atlante, emerge chiaramente come ogni edificio non rappresenti soltanto una fonte preziosa di elementi e materiali costruttivi, ma anche sia parte integrante del patrimonio culturale. Dietro ogni edificio si celano infatti singole storie che verranno inevitabilmente perse con la demolizione, per non parlare della conoscenza costruttiva, del saper fare intrinseco in ogni elemento.

Osservando mappa delle demolizioni mostrata nell'immagine 3.5, possiamo avere un'idea generale della portata del fenomeno delle demolizioni. Ogni punto corrisponde ad un'area dove è stato demolito un certo numero di edifici: più grande è il simbolo, maggiore è il numero di edifici demoliti.

L'apparente mancanza di demolizioni nella parte sud della Svizzera è attribuita al fatto che non sono stati acquisiti molti dati per quelle regioni. Questa mappa fornisce un'efficace rappresentazione visiva di ciò che molti studi riportano attraverso dati numerici precisi.

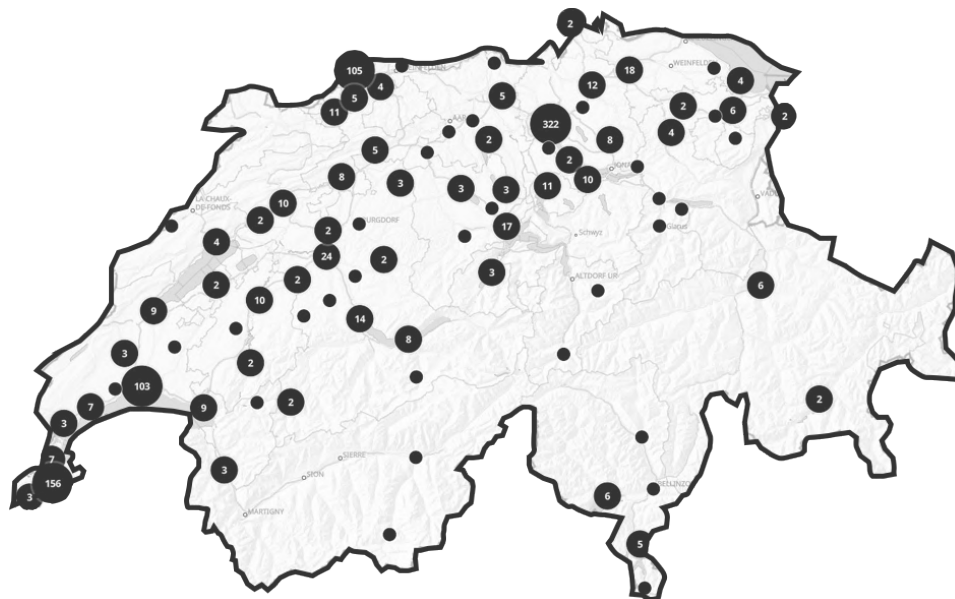


Figura 3.5: Mappa della Svizzera raffigurante la quantità e la posizione di tutti gli edifici demoliti fino ai nostri giorni. I dati sono stati raccolti dall'associazione Countdown2030. Fonte immagine: [18].

Secondo uno studio dell'Ufficio Federale dell'Ambiente (UFAM) in Svizzera ogni anno vengono demoliti circa 4.000 edifici, corrispondenti a più di dieci edifici al giorno [17]. Un altro studio, condotto dalla società Wüest&Partner per conto stesso dell'UFAM, analizza il volume dei materiali provenienti dalle demolizioni fino all'anno 2015, stimando un totale di circa 10,0 milioni di metri cubi [15].

Inoltre, si prevede che la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione aumenterà del 20% entro il 2025, passando dagli attuali 7,5 milioni di tonnellate a quasi 9 milioni di tonnellate, ovvero circa 12 milioni di metri cubi in più [15]. Tale previsione è osservabile nel grafico in figura 3.6.

Nello stesso grafico, è inoltre importante osservare che, per ogni anno considerato, i rifiuti derivanti dalle demolizioni sono significativamente superiori rispetto a quelli provenienti dalle nuove costruzioni o dagli interventi di restauro [15].

Il diagramma invece riportato in fig. 3.7 illustra le quantità dei vari tipi di rifiuti da costruzione in relazione alla loro origine, che sia da processi di costruzione,

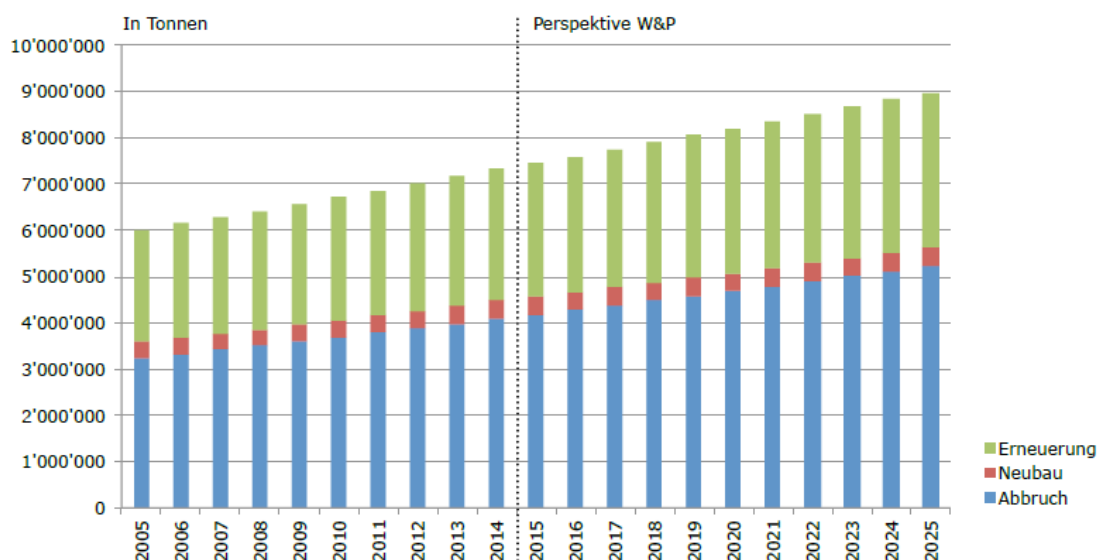


Figura 3.6: Previsione 2005-2025 dei rifiuti da costruzione e demolizione. In particolare si suddividono i rifiuti secondo l'origine, ovvero operazioni di rinnovo, nuova costruzione o demolizione (in ordine: *Erneuerung*, *Neubau*, *Abbruch*).

Si evidenzia un aumento graduale della quantità dei rifiuti C&D nel corso di venti anni, raggiungendo una stima di 9 milioni di tonnellate nel 2025. Fonte immagine: [15].

trasformazione o demolizione.

Il calcestruzzo e gli inerti emergono come il materiale più abbondante risultante dalle demolizioni, con una cifra prossima ai 2 milioni di tonnellate [15].

Ma quali sono i principali fattori che determinano le decisioni di demolizione? Per comprendere questi fattori, è importante analizzare il contesto sociale e urbanistico della Svizzera.

La Svizzera è caratterizzata dalla presenza sparsa di piccole e medie città in cui si riversa la maggior parte della popolazione, mentre le aree rurali e le regioni montane occupano circa il 77% della superficie nazionale [19], configurando la Svizzera come un territorio piuttosto frammentato, costituito soprattutto da piccole cittadine o villaggi.



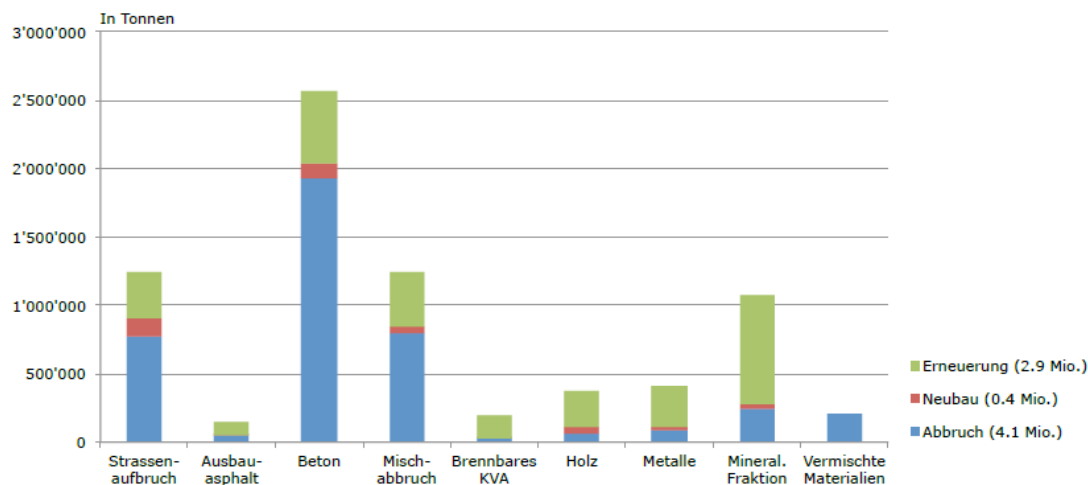


Figura 3.7: Rifiuti C&D in Svizzera nell'anno 2015 analizzati suddivisi secondo l'origine, ovvero operazioni di rinnovo, nuova costruzione o demolizione (in ordine: *Erneuerung, Neubau, Abbruch*).

Il calcestruzzo risulta essere il materiale più abbondante tra i rifiuti edili, soprattutto in relazione al processo di demolizione. Fonte immagine: [15].

In totale, il paese conta attualmente 8.7 milioni di abitanti, ma secondo le previsioni dell'Ufficio Federale di Statistica (UST), durante i prossimi anni si verificherà un costante aumento demografico dovuto all'alta qualità della vita e alle condizioni economiche ottimali caratterizzanti nel paese.

Si stima infatti che entro il 2045 la popolazione svizzera raggiungerà una quota di 10,2 milioni.

Per fornire un esempio concreto di come questa condizione sociale e demografica sia connessa strettamente al fenomeno della demolizione, prendiamo in considerazione la città di Zurigo e il Canton Zurigo, per il quale si stima un aumento del 25% della popolazione entro il 2045.

Per rispondere a questa continua crescita demografica, le attuali strategie politiche sono orientate verso il promuovere un densificazione centripeto degli insediamenti abitativi, in modo da non intaccare l'ambiente naturale e il paesaggio circostanti le città e i paesi.

Seguendo questa visione, l'unico modo per far fronte alla situazione è attraverso la costruzione di nuovi edifici che vadano a svilupparsi maggiormente in altezza, ospitando un conseguente maggior numero di appartamenti e quindi di persone. Di riflesso quindi molti edifici devono esser demoliti per fare spazio a nuove costruzioni che soddisfino la crescente domanda di alloggi.

Scendendo nel dettaglio, lo studio precedentemente menzionato di Wüest&Partner presenta un grafico illustrante il volume delle demolizioni in Svizzera dell'anno 2015, misurato in milioni di metri cubi e suddiviso per Cantoni.

Come osservabile in figura 3.8 Il Cantone di Zurigo emerge al primo posto, registrando un valore di quasi 1,75 milioni di tonnellate di volume di materiale demolito [15].

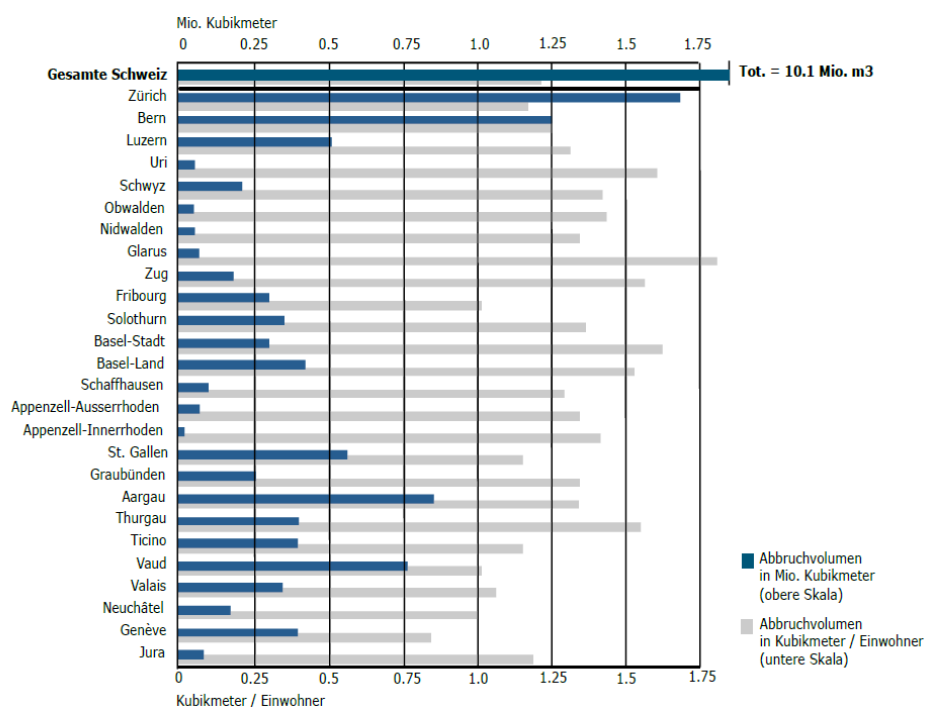


Figura 3.8: Volume delle demolizioni per Cantoni nell'anno 2015.

Si osserva come il Canton Zurigo presenta il volume di demolizione più alto di tutti e 26 Cantoni, con un valore di quasi 1.75 milioni di metri cubi. Fonte immagine: [15].

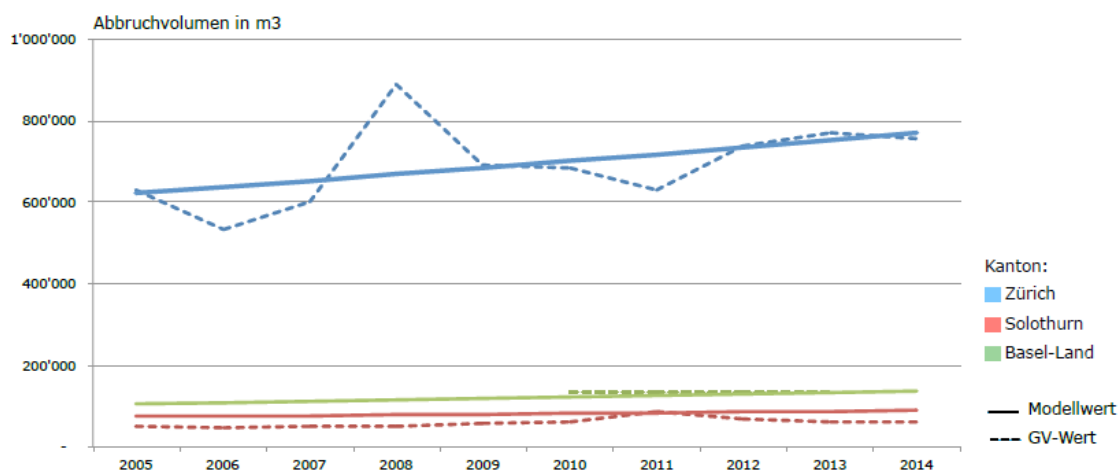


Figura 3.9: Volume delle demolizioni per il Canton Zurigo, Basilea e Soletta. Si osserva come il Canton Zurigo, nel periodo di tempo presentato (2005-2014) riporta un incremento del volume demolito di circa quattro volte. Fonte immagine: [15].

Nel grafico invece in fig. 3.9 si confrontano i volumi delle demolizioni nel periodo compreso fra il 2005 e il 2014, prendendo in analisi tre Cantoni specifici: Zurigo, Basilea Campagna e Soletta. È importante notare che, mentre per i Cantoni di Soletta e Basilea Campagna il volume demolito aumenta solo marginalmente, il Cantone di Zurigo mostra un incremento di circa quattro volte [15].

Questi dati riflettono chiaramente le considerazioni precedenti riguardo alla necessità di adeguare il patrimonio edilizio per soddisfare la crescente domanda abitativa. È per questo motivo che si registrano un maggior numero di demolizioni nei cantoni come Zurigo, noto per la sua forte crescita economica e l'attrattività che esercita sulla popolazione svizzera e non solo.

Altri fattori che risultano egualmente centrali nell'ottica del perseguire la pratica della demolizione sono:

1. composizione del patrimonio edilizio e adeguamento agli standard energetici.
2. maggiori profitti economici

È chiaro che, ad eccezione degli edifici storici più antichi, quelli destinati alla demolizione saranno principalmente quelli costruiti prima del 1960 o durante il periodo degli anni '60, '70 e '80.

Il grafico in fig. 3.10 riporta i tassi di demolizione, ovvero la quantità di costruzioni demolite rispetto a quelle esistenti, in funzione degli anni di costruzione, suddivisi in base alle destinazioni d'uso. Dal grafico si nota come le demolizioni avvengono più frequentemente per le costruzioni giunte al termine della vita utile, quindi quelle costruite oramai più di cinquant'anni fa. Tuttavia, per gli edifici non residenziali si registra un tasso di demolizione abbastanza importante anche per quelli costruiti negli ultimi 20 anni circa.

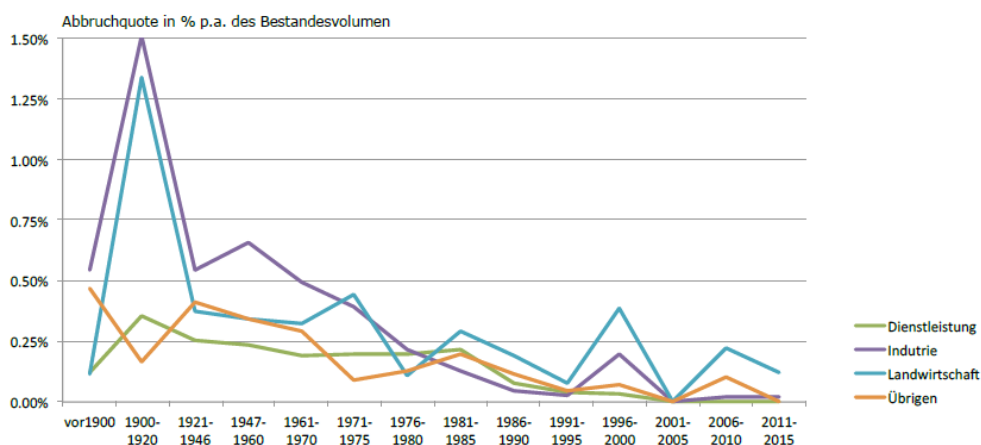


Figura 3.10: Tasso di demolizione, rispetto al volume del costruito esistente, per edifici per servizi, industrie, per l'agricoltura e altro (in ordine: *Dienstleistung*, *Industrie*, *Landwirtschaft*, *Übrigen*).

Si nota come il tasso maggiore di demolizione interessi tutte le costruzioni risalenti agli anni 1920-1940, tuttavia si riscontrano anche valori elevati per gli anni 1950-1960 e 1990-2000. Fonte immagine: [15]

Un'altra motivazione è sicuramente il profitto economico.

In Svizzera è piuttosto comune, se non la norma, trovare edifici residenziali completamente posseduti da società, come ad esempio le casse malati, che affidano la gestione delle proprietà alle agenzie immobiliari per massimizzare i profitti.

Per raggiungere questo obiettivo, si osserva una tendenza ad investire denaro per costruire nuovi edifici sempre più densamente popolati, con abitazioni sempre più compatte. Questo perché, con la stessa metratura di un edificio, ad esempio, di 6 appartamenti, se ne possono ricavare il doppio, garantendo quindi un guadagno maggiore.

Come vedremo nel capitolo 7.1 questa motivazione si trova alla base della demolizione che interessa il caso studio di questa tesi.

In conclusione, è essenziale comprendere quali edifici siano soggetti al processo di demolizione e le ragioni alla base di questa decisione, poiché esse spesso rappresentano la chiave per valutare il potenziale di riutilizzo e riciclo dei materiali.

Se un edificio viene demolito per ragioni economiche, ad esempio per costruire un numero maggiore di abitazioni possibili nella stessa area, è probabile che gli elementi e i componenti dell'edificio da demolire siano ancora in buone condizioni e possano essere facilmente riutilizzati. Se invece l'edificio viene demolito perché non è più in linea con gli standard energetici o con la qualità architettonica attuale, si presume che il potenziale di riutilizzo potrebbe diminuire.

## Parte II

# Il Riutilizzo dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione

# Capitolo 4

## Introduzione al Concetto di Economia Circolare

### 4.1 Definizione di Sviluppo Sostenibile e di Economia Circolare

Una delle chiavi fondamentali per affrontare la sfida climatica, come già affermato, risiede nella riduzione della quantità dei rifiuti.

Come approfondito nel capitolo 1.2, la Direttiva Europea 2008/98/CE introduce la Gerarchia dei rifiuti proprio al fine di guidare gli Stati membri verso una gestione dei rifiuti più sostenibile, con lo scopo di minimizzare le quantità dei rifiuti e portare la società non più a guardare i rifiuti come qualcosa da smaltire ma come risorsa e possibilità.

All'interno di questa Gerarchia, il riuso si pone come una delle strategie più compatibili con il voler ridurre la quantità dei rifiuti e il loro impatto sull'ambiente, in quanto comporta il recuperare quello che viene individuato come scarto di un processo (per esempio di demolizione) e destinarlo ad un nuovo ciclo di vita, eliminando di fatto la sua caratteristica di rifiuto.

Ma cosa si intende di fatto per sostenibilità e quando si comincia a parlarne?

Nel 1966 il filosofo ed economista Kenneth Boulding pubblica un saggio intitolato *The Economics of the Coming Spaceship Earth*.

Nel saggio Boulding critica il tradizionale modello economico lineare, definito come economia aperta, il quale viene associato al concetto di risorse illimitate, di consumo e produzione sfrenata, nonché ad un comportamento sfruttatore e violento da parte dell'uomo nei confronti dell'ambiente [20].

Boulding, consapevole di come questo modello di sviluppo non sia più a lungo sostenibile, propone un modello di economia chiusa, che chiama "*the spaceman economy*" [20]. Il nome deriva da una visione per la quale la Terra è concepita come un'astronave con risorse limitate all'interno della quale all'uomo ("*the spaceman*") è richiesta particolare attenzione nell'evitare sprechi, rifiuti e inquinamento, proprio in virtù della natura chiusa della navicella dove tutto è limitato, anche la capacità di sopportazione rispetto alla presenza di elementi inquinanti.

Il modello economico proposto minimizza produzione e consumo, favorendo la creazione di beni a lunga durata e uno sviluppo sociale che non danneggi né l'uomo né la navicella stessa.

Si può quindi affermare che Kenneth Boulding abbia spostato l'attenzione su un modello di economia sostenibile che consenta all'umanità di continuare a progredire nel tempo senza causare danni aggiuntivi al pianeta Terra e senza consumare le risorse primarie destinate alle generazioni future.

Tuttavia, è solamente nel 1987 che si arriva a delineare in maniera ufficiale il concetto di sostenibilità e di sviluppo sostenibile, attraverso la pubblicazione da parte della Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo del documento "*Our Common Future*".

Nel documento, chiamato anche "Rapporto Brundtland", dal nome della coordinatrice della Commissione Go Harlem Brundtland, lo sviluppo sostenibile viene identificato come "lo sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri" [21].

È evidente quindi come, così come teorizzava Kenneth Boulding, il modello economico lineare tradizionale non si allinei con il concetto di sviluppo sostenibile, poiché



conduce inevitabilmente all'esaurimento delle risorse necessarie alle generazioni future, andando a causare danni all'ambiente naturale circostante, i quali andranno a ricadranno appunto sulle generazioni a venire.

Proseguendo nel tempo, durante la Conferenza delle Nazioni Unite del 2012 a Rio de Janeiro, si è iniziato a discutere di "*green economy*" e "*green growth*", vale a dire di un'economia e di un modello di crescita verde, che significa basse emissioni di carbonio e uso efficiente delle risorse.

Il concetto di economia verde e sviluppo sostenibile ha assunto negli anni una rilevanza tale che nel 2015 viene redatto un documento di estrema importanza noto come Agenda 2030, il quale riporta 17 obiettivi, conosciuti come Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (*Sustainable Development Goals*, SDGs) da conseguire entro l'anno 2030.

L'Agenda 2030 costituisce un punto di svolta cruciale nella storia poiché attraverso di essa per la prima volta i leader mondiali si uniscono in un impegno politico comune per promuovere uno sviluppo sostenibile che abbracci tre sfere differenti ma interconnesse fra di loro [22]:

- Sostenibilità economica, ovvero la capacità di generare reddito e occupazione per garantire il mantenimento della popolazione;
- sostenibilità sociale, ovvero la capacità di assicurare condizioni di benessere (per esempio sicurezza, salute o istruzione) distribuite in egual maniera tra le diverse classi sociali e i generi;
- Sostenibilità ambientale, ovvero capacità di preservare la qualità e la disponibilità delle risorse;

Particolarmente rilevante per questa tesi è l'Obiettivo numero 12, intitolato "Consumo e Produzione Responsabili", il quale come da titolo si focalizza sulla promozione di modelli di produzione e consumo sostenibili [23].

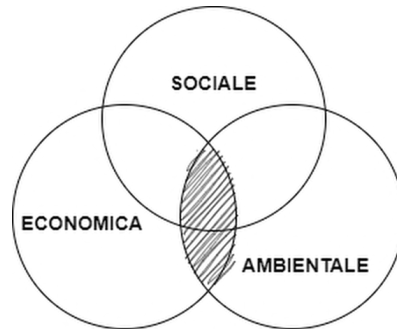


Figura 4.1: Le tre sfere della sostenibilità, strettamente interconnesse fra di loro, ovvero quella economica, sociale ed ambientale.

I relativi sotto-obiettivi delineano nel dettaglio una serie di azioni e comportamenti aventi in comune il raggiungimento della produzione sostenibile. Fra i tanti, i più significativi sono [22]:

- Obiettivo 12.2: Entro il 2030, raggiungere la gestione sostenibile e l'utilizzo efficiente delle risorse naturali;
- Obiettivo 12.4: Entro il 2020, raggiungere la gestione eco-compatibile di sostanze chimiche e di tutti i rifiuti durante il loro intero ciclo di vita, in conformità ai quadri internazionali concordati, e ridurre sensibilmente il loro rilascio in aria, acqua e suolo per minimizzare il loro impatto negativo sulla salute umana e sull'ambiente;
- Obiettivo 12.5: Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo;

È cruciale sottolineare l'importanza dell'approccio del riutilizzo, riconosciuto come una pratica fondamentale nel ridurre la quantità di rifiuti e nell'avanzare verso un modello di consumo e produzione responsabile e sostenibile. Come sarà illustrato nella sezione 4.2.1, il riutilizzo rappresenta uno dei pilastri dell'economia circolare.



Figura 4.2: Icona ufficiale raffigurante l'obiettivo 12: Consumo e Produzione Responsabili. Fonte immagine: [23].

Anche la Svizzera si è impegnata attivamente nella promozione della sostenibilità, aderendo agli obiettivi dell'Agenda 2030 e introducendo un proprio sistema nazionale di indicatori di sostenibilità chiamato MONET 2030.

Il sistema MONET è stato sviluppato per monitorare annualmente i progressi del paese verso lo sviluppo sostenibile ed è strutturato sulla base dei 17 Obiettivi dell'Agenda 2030, ai quali sono stati aggiunti altri obiettivi specifici per il contesto svizzero e le sue necessità [24].

Complessivamente, il MONET 2030 comprende oltre 100 indicatori, suddivisi secondo le tre dimensioni della sostenibilità. Nello specifico, le tre macroaree in cui sono divisi gli indicatori sono così denominate [24]

1. Principi per la solidarietà sociale
2. Principi per l'efficienza economica
3. Principi per la responsabilità ecologica

Ogni indicatore del sistema MONET 2030 è accompagnato da tre simboli, vedi fig. 4.3, i quali permettono una visione sintetica e comprensibile dell'evoluzione del paese nel tempo, consentendo di valutare se si sta andando nella direzione verso uno sviluppo sostenibile o meno [25]. Questo approccio fornisce una valutazione chiara e trasparente dei progressi compiuti nelle varie aree e cosa è necessario migliorare [25].

Evoluzione auspicata		
Incremento	Calo	Stabilizzazione

Evoluzione osservata		
Incremento	Calo	Nessuna variazione di rilievo

Valutazione dell'evoluzione osservata rispetto a quella auspicata	
	Positiva (verso la sostenibilità: evoluzione osservata = evoluzione auspicata,   ,   o   )
	Negativa (contraria alla sostenibilità: evoluzione osservata ≠ evoluzione auspicata,   ,   o   )
	Indifferente (nessuna variazione di rilievo,   o   )
	Nessuna valutazione

Figura 4.3: Tabella riportanti i simboli utilizzati dal sistema MONET 2030. Il primo simbolo rappresenta l'evoluzione auspicata, il secondo l'evoluzione osservata (in un dato periodo) e il terzo qualifica l'evoluzione osservata rispetto a quella auspicata. Fonte immagine: [25].

Gli indicatori MONET 2030 in sintesi			
<b>ODD 13: Agire per il clima</b>			
			Valutazione dei pericoli legati al cambiamento climatico
			Impronta di gas serra
			Emissioni di gas serra
			Decessi causati da eventi naturali

Figura 4.4: Esempio di andamento dell'obiettivo 13 e dei suoi sotto obiettivi aggiornato all'anno 2022. Fonte immagine: [26].

Sia il sistema MONET 2030 che l'Agenda 2030 rappresentano passi fondamentali verso un modello di sviluppo sostenibile, offrendo ai vari paesi una visione chiara e completa su come orientarsi. Questi strumenti, infatti, non solo forniscono una guida per intraprendere la giusta direzione, ma permettono anche un'autovalutazione dei progressi compiuti e delle azioni necessarie per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Per attuare concretamente gli obiettivi dell'Agenda 2030, una delle azioni più importanti da intraprendere è quella di abbandonare il tradizionale modello di economia lineare, sostituendolo con un modello circolare.

Ma cosa si intende esattamente per economia circolare?

Una delle definizioni più complete è fornita dalla Fondazione Ellen MacArthur (EMF), l'organizzazione no-profit di riferimento a livello mondiale per il suo impegno nella transizione verso questo modello economico.

Secondo La fondazione, l'economia circolare è un "sistema in cui i materiali non diventano mai rifiuti e la natura si rigenera" [27]. Non si parla quindi di un sistema come quello tradizionale dove l'uomo prende i materiali dalla Terra, li trasforma in prodotti e dopo averli sfruttati li getta via come rifiuti, ma si fa riferimento a un sistema in cui i prodotti sono mantenuti in circolazione attraverso processi di manutenzione e rigenerazione che consentono il loro riutilizzo ripetuto nel tempo. In sostanza, l'economia circolare è un'economia pensata per potersi rigenerare da sola, un'economia in cui tutti i processi, dalla fase di estrazione a quella di produzione, sono coordinati in modo che ciò che potrebbe essere un rifiuto diventi effettivamente una risorsa [27].

Analogamente alla EMF, il Parlamento Europeo definisce ufficialmente l'economia circolare come un "modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione (...) dei materiali e prodotti il più a lungo possibile" [28], il quale permetterà di estendere il ciclo di vita utile dei prodotti, andando quindi a ridurre al minimo i rifiuti e il consumo delle risorse.

Nel documento rilasciato dall'Unione Europea nel 2015, intitolato "L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare", si afferma che



Figura 4.5: Rappresentazione del sistema di produzione lineare, in cui al termine della catena di produzione e utilizzo si verifica lo smaltimento del prodotto come rifiuto.

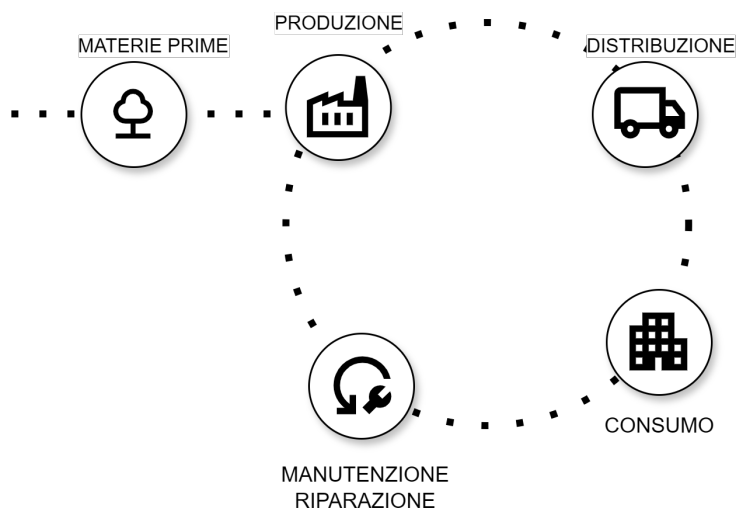


Figura 4.6: Rappresentazione del sistema di produzione circolare, in cui, dopo il termine della vita utile di un prodotto, si procede alla sua rigenerazione attraverso processi di manutenzione, riparazione e recupero in generale. Ciò consente di reintrodurlo in un nuovo sistema di produzione senza che diventi un rifiuto.

la transizione verso questo modello economico consentirà all'UE non solo di evolvere verso un'economia sostenibile con basse emissioni di anidride carbonica e un consumo controllato di risorse non rinnovabili, ma offrirà anche l'opportunità di creare nuovi posti di lavoro e opportunità di generare nuovi redditi [29].

## 4.2 Approcci alla Base del Modello Circolare: Le R-Strategies

Alla base del modello economico circolare troviamo un set di approcci da seguire, le cosiddette "*R-strategies*", organizzate in 3 macroaree [30]:

1. utilizzo e produzione di prodotti intelligenti
2. estensione della vita utile del prodotto e delle sue parti
3. applicazione utile del materiale

Utilizzo e produzione di prodotti intelligenti	Estensione della vita utile del prodotto e delle sue parti	Applicazione utile del materiale
<b>R0</b> - Rifiutare <i>(Refuse)</i> <b>R1</b> - Ripensare <i>(Re-think)</i> <b>R2</b> - Ridurre <i>(Reduce)</i>	<b>R3</b> - Riusare <i>(Re-use)</i> <b>R4</b> - Riparare <i>(Repair)</i> <b>R5</b> - Ricondizionare <i>(Refurbish)</i> <b>R6</b> - Rigenerare <i>(Remanufacture)</i> <b>R7</b> - Riqualificare <i>(Repurpose)</i>	<b>R8</b> - Riciclo <i>(Recycle)</i> <b>R9</b> - Recupero di energia <i>(Recovery)</i>

Tabella 4.1: Le R-strategies suddivise per macroaree. Fonte immagine: elaborazione personale basata sullo studio [30]

La prima categoria comprende strategie volte a ridurre le quantità di materie prime utilizzate nei processi di produzione.

Queste strategie includono il rifiutare (R0), che implica evitare l'utilizzo di un prodotto se non è necessario [30]; il ripensare (R1), che consiste nell'utilizzare un oggetto in modo intensivo e considerare alternative d'uso quando non è più possibile utilizzarlo per il suo scopo originale [30]; infine, il ridurre (R2), che implica la diminuzione delle quantità di materie prime necessarie per la produzione di un prodotto attraverso un approccio più consapevole ed efficiente [30].

Per quanto concerne la seconda categoria, troviamo le strategie comprese fra il numero 3 e 7, le quali sono focalizzate sull'estensione della vita utile del prodotto e delle sue parti, mirando quindi a mantenere il più a lungo possibile le materie prime all'interno del sistema circolare.

Nel dettaglio, la strategia R3 rappresenta il riuso il quale, come visto nel capitolo 1.2 è riportato nella gerarchia della gestione dei rifiuti come una delle opzioni più sostenibili. Inoltre, viene considerato dall'Agenda 2030 come uno degli approcci suggeriti in merito al raggiungimento dell'Obiettivo numero 12, ovvero quello di avere un modello di produzione e consumo sostenibile.

Secondo la definizione delle strategie, il riuso implica cedere un oggetto non più utilizzato a terze parti, consentendo loro di sfruttarlo ulteriormente [30]. Poiché il concetto di riuso è centrale per questo lavoro di tesi, esso verrà approfondito nel capitolo 4.2.1 e nel capitolo 5 con un focus specifico sul riuso dei rifiuti derivanti da costruzione e demolizione.

Proseguendo con le strategie, troviamo il riparare (R4) e il ricondizionare (R5). Quest'ultimo si differenzia dal primo poiché mentre il riparare riguarda oggetti non più funzionanti o difettati, il ricondizionare implica invece il rinnovo di prodotti obsoleti.

Segue il rigenerare (R6), che implica l'utilizzo di componenti e parti di prodotti ancora funzionanti per crearne di nuovi con le stesse funzioni, e infine il riqualificare (R7, una strategia simile al rigenerare ma con l'obiettivo di creare prodotti con usi e funzionalità diverse

La terza e ultima categoria contempla le strategie da adottare nel caso in cui non sia possibile applicare le precedenti, includendo quindi la strategia del riciclo (R8), per la quale i rifiuti vengono trasformati nuovamente in materie prime (le cosiddette materie prime seconde), e il recupero dell'energia di feedstock (R9).

In generale è possibile osservare come ogni strategia in realtà è in qualche modo connessa alle altre, come per esempio il ripensare è una via per arrivare il riuso, o ancora al rigenerare o riqualificare.



### 4.2.1 La Strategia Del Re-Use: Differenze Fra Riutilizzo E Reimpiego

Come già affermato in precedenza, il riuso è considerato come una delle gestioni dei rifiuti più sostenibile, tanto da trovarsi verso la base della piramide rovesciata della "*Waste Hierarchy*".

Dal punto di vista normativo internazionale, nella Direttiva 98/2008 della Comunità Europea il riuso viene genericamente riportato come operazione attraverso la quale si riutilizza un prodotto per lo stesso scopo che aveva inizialmente o per uno differente [2].

Nonostante il fatto che il termine riuso e riutilizzo siano spesso utilizzati come sinonimi, in realtà non vanno ad indicare la medesima operazione. Il termine riuso è infatti un concetto più ampio che comprende due pratiche simili ma distinte:

- **Il riutilizzo:** si riferisce all'uso di un elemento mantenendo la sua funzione originale [31]. Ad esempio, nel contesto architettonico, una finestra potrebbe essere riutilizzata come finestra in un nuovo progetto;
- **Il reimpiego:** consiste nell'adozione di un elemento per una funzione diversa da quella per cui era stato originariamente concepito [31]. Reimpiegare una finestra potrebbe significare, ad esempio, utilizzarla come elemento divisorio tra ambienti;

Per comprendere appieno i concetti di riuso, riutilizzo e reimpiego, è fondamentale chiarire quando, secondo la legge, un oggetto smette di essere considerato un rifiuto.

Nella Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo, nello specifico nell'articolo 6, si trova il concetto di cessazione della qualifica di rifiuto, analizzato nel capitolo 2.1. Per ripeterlo brevemente, i rifiuti cessano di essere tali dopo esser stati sottoposti ad operazioni di recupero in modo tale che soddisfino determinate condizioni, ovvero [4]:

- a) la sostanza o l'oggetto è destinata/o a essere utilizzata/o 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

Queste condizioni sono valide anche per la legislazione svizzera [32].

Un articolo pubblicato dal Canton Zurigo nella sezione "*Abfallwirtschaft*" ovvero la sezione dedicata alla gestione dei rifiuti, riporta come la messa in opera della pratica del riuso non solo contribuirebbe a preservare le materie prime e a ridurre le quantità di rifiuti, ma consentirebbe anche di limitare l'uso di energia necessaria per la produzione, contribuendo così a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera [33]. Per quanto riguarda l'Unione Europea, la Direttiva 2018/851, la quale va ad integrare l'articolo 11 della Direttiva 2008/998/CE, documento analizzato nel capitolo 2.1, riporta informazioni circa gli obiettivi riguardanti il riuso da raggiungere entro i prossimi anni. Nello specifico viene riportato come [34]:

- entro il 2025, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 55 % in peso;
- entro il 2030, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 60 % in peso;
- entro il 2035, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio dei rifiuti urbani saranno aumentati almeno al 65 % in peso;

Quindi il riuso trova particolare importanza all'interno delle attuali strategie per un'economia circolare e per abbattere gli impatti ambientali proprio poiché si basa sul presupposto di non creare uno scarto ma bensì di comprendere le proprietà e la versatilità di un elemento per poi andarlo a utilizzare nuovamente in un nuovo ciclo di vita.

# Capitolo 5

## Il Riuso dei Rifiuti C&D in Architettura

### 5.1 Il Riuso in Architettura: Vantaggi e Riferimenti Storici

Attualmente, nel campo della progettazione architettonica, il riciclo è una delle pratiche più diffuse per la gestione sostenibile dei rifiuti e per promuovere l'economia circolare. Tuttavia, questo processo comporta un elevato consumo di energia e genera notevoli emissioni di anidride carbonica durante la trasformazione dei materiali. Nonostante questo, il riciclo è considerato la soluzione standard e il riuso viene spesso visto come un'opzione alternativa, quasi marginale.

Diventa quindi essenziale adottare una nuova prospettiva la quale veda il riuso come la pratica predefinita, riservando il riciclo solo ai casi in cui il primo non sia praticabile.

Adottare la pratica del riuso al posto del riciclo comporta diversi vantaggi, tra cui:

- Una notevole riduzione dei rifiuti derivanti da costruzione e demolizione.

- Il risparmio dell'energia incorporata (la cosiddetta *Embodied Energy*), ossia l'energia complessiva impiegata, sia direttamente che indirettamente, per la produzione di un bene, dalla fase di estrazione delle materie prime fino al completamento del processo di fabbricazione [35].
- Una diminuzione delle emissioni di CO2 nell'atmosfera
- La conservazione delle risorse non rinnovabili
- La protezione del *know-how* integrato in ciascun elemento
- La tutela del valore storico, architettonico e culturale unico di ogni componente.

Parallelamente a questi benefici, è importante considerare che, attualmente, i costi di costruzione potrebbero rimanere comparabili a quelli di un edificio costruito con materiali nuovi o riciclati. Sebbene i materiali riutilizzati siano generalmente più economici, il loro impiego richiede manodopera specializzata per lo smontaggio, la manutenzione e il successivo riutilizzo. Tuttavia, bisogna anche considerare che i costi associati al riutilizzo possano tradursi in opportunità economiche per le imprese artigiane locali [36].

L'articolo intitolato "*The reuse of load-bearing components*", pubblicato nel 2019 sulla rivista "*IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*" presenta un caso di studio riguardante la progettazione della copertura della stazione ferroviaria di Losanna. In questo progetto, si propone l'utilizzo di componenti recuperati da sei tralicci per il trasporto di energia elettrica, programmati per essere smantellati nel Canton Vallese.

Nell'articolo, focalizzato nell'indagare nello specifico la fattibilità del riuso di componenti strutturali, viene descritto il procedimento seguito, il quale inizia con un'attenta analisi di ciascun traliccio, mirata a raccogliere dati sulla quantità, le dimensioni e il materiale di ogni elemento presente [37].

Il successivo passaggio riguarda invece il progetto vero e proprio della copertura della stazione, ottenuto attraverso un software di ottimizzazione delle tipologie

e della forma dei vari componenti, al fine di minimizzare la necessità di tagli o modifiche che genererebbero scarti e di massimizzare il riutilizzo dei vari elementi portanti [37].

Il risultato di questo processo è una struttura simile a quella mostrata nella Fig. 5.1

Dopo aver definito il design e le caratteristiche della struttura della copertura, essa è stata confrontata con un'altra copertura realizzata attraverso il medesimo procedimento di ottimizzazione ma con materiali riciclati.

Nel dettaglio è stato valutato e confrontato l'impatto ambientale delle due strutture in termini di energia incorporata (la cosiddetta *Embodied energy*, ovvero la somma di tutta quell'energia che si è reso necessario spendere durante l'intero ciclo di vita di un prodotto) e di emissioni di gas serra (*GHG emissions*) [37].

Per la comparazione, sono stati considerati solo gli impatti dei sotto-processi che differiscono tra il riuso e il riciclo. Nel caso del riuso, sono stati presi in considerazione tutti gli impatti causati dalle operazioni di smantellamento e trasporto (per oltre 200 km), mentre per la copertura con elementi riciclati sono stati considerati gli impatti legati alla produzione di elementi in acciaio riciclato e al trasporto (per oltre 70 km) [37].

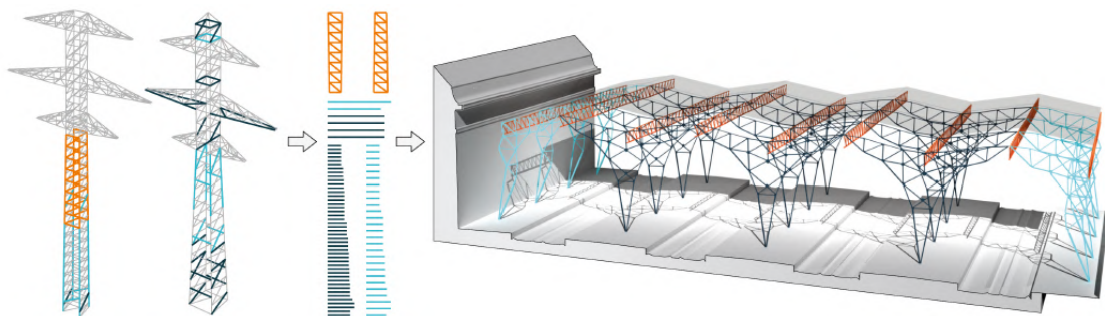


Figura 5.1: Rappresentazione 3D del processo di ottimizzazione che ha interessato le travi in acciaio dei tralicci per la progettazione del padiglione di copertura della stazione di Losanna. Fonte immagine: [37].

I risultati evidenziano una riduzione significativa dell'energia incorporata e delle emissioni di gas serra nella struttura con elementi riutilizzati, rispettivamente del

63% e del 56% rispetto al caso del riciclo [37].

Questo conferma la fattibilità teorica di progettare una struttura portante utilizzando elementi riutilizzati e dimostra il netto impatto inferiore sull'ambiente di tale approccio.

In realtà, sebbene il riuso possa sembrare una pratica contemporanea, le sue origini risalgono a epoche molto più antiche.

Prima dell'avvento della rivoluzione industriale infatti, i materiali e gli elementi necessari per le costruzioni venivano spesso reperiti localmente tra le strutture giunte al termine della loro vita utile.

Ciò avveniva principalmente perché le operazioni richieste per il riutilizzo erano significativamente meno costose rispetto alla produzione di nuovi materiali. Proprio per questo, la pratica del riuso era già ampiamente adottata già dalle antiche civiltà, tra cui quella egiziana, romana e greca [37]. Soprattutto nel III secolo a.C, con la crisi dell'Impero romano, si ebbe una minore disponibilità di materiali e quindi si cominciò a riutilizzare capitelli, fusti, trabeazioni e marmi [38].

Un esempio dell'esistenza della pratica del riuso in antichità è costituito dal famoso Arco di Trionfo di Costantino [37], eretto appunto durante l'epoca costantiniana a Roma.

L'Arco fu costruito per commemorare la vittoria dell'imperatore Costantino su Massenzio nella battaglia di Ponte Milvio e, come mostrato dallo schema in fig. 5.2, presenta rilievi scolpiti risalenti ai tempi di Traiano, Adriano e Marco Aurelio [37].

Un altro esempio concreto di riuso in età romana è il portico di Ottavia, visibile nella prima immagine in fig. 5.4, edificato in epoca augustea [40].

Il lato posteriore del frontone d'ingresso rivela chiaramente elementi riutilizzati, rimasti molto identificabili poiché non sono stati sottoposti né a lavorazioni né a modifiche, essendo originariamente coperti da una capriata lignea. Con il crollo del tetto, è ora possibile osservarli in tutta la loro autenticità [38].

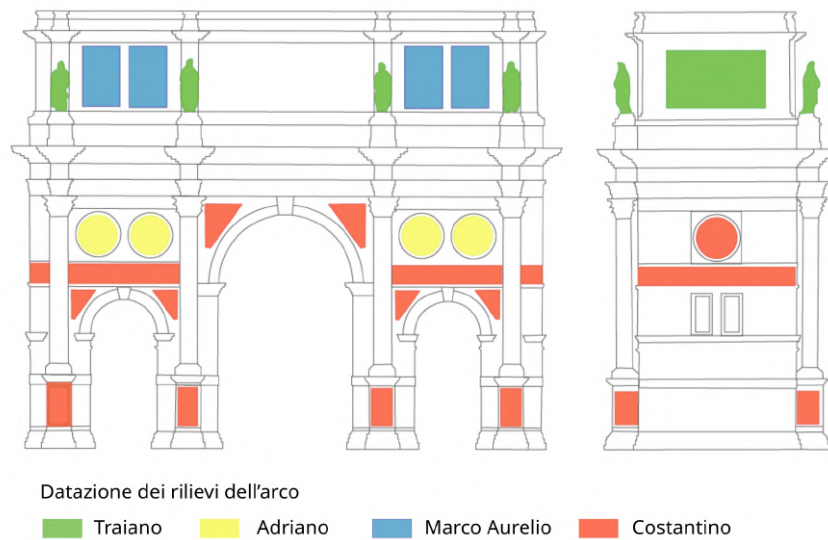


Figura 5.2: Rappresentazione dell'Arco di Costantino riportante i diversi periodi a cui risalgono i diversi rilievi. Fonte immagine: [39].

In età medievale invece le chiese cristiane riutilizzarono o reimpiegarono spesso elementi provenienti da costruzioni pagane (come colonne, capitelli o basi) e ciò non solo a causa della scarsità o del costo del materiale, ma effettivamente per richiamare il prestigio e il potere del vecchio impero romano [38].

Un esempio della pratica del riuso risalente all'età medievale è la casa dei Crescenzi. Quest'ultima è un'antica residenza medievale situata a Roma, precisamente al confine del Foro Boario, di fronte al Tempio di Portuno [41].

Costruita tra il 1040 e il 1065 su commissione di un certo Nicolaus della famiglia Crescenzi, la residenza era probabilmente destinata a monitorare il traffico lungo il fiume Tevere grazie alla sua posizione strategica [41].

Oggi, l'edificio conserva il piano terra, il primo piano e una parte del secondo, offrendo un'esemplare testimonianza storica della pratica del riuso.

La casa si distingue infatti per l'impiego di materiali di recupero, tra cui laterizi ed

elementi marmorei come mensole, trabeazioni e cornici, che un tempo appartenevano ad antichi edifici romani [42].

I laterizi di riuso sono osservabili in varie parti della residenza; lungo tutte le pareti esterne si notano infatti mattoni di diverse dimensioni e colorazioni, le quali cambiano a seconda degli edifici di provenienza [43]. Sul lato sud della casa sono presenti semicolonne e paraste dotate di capitelli formati anch'essi da mattoni provenienti probabilmente da antichi monumenti caratterizzati da colonne in cotto, come antiche *domus* o sepolcri a tempietto [43].

Ancora, i mattoni di recupero sono stati impiegati negli archi ribassati di scarico che troviamo sopra il portale d'ingresso e nelle cornici a denti di sega che ornano le pareti esterne [43].

La casa porta in sé anche un esempio di reimpiego che, come specificato nel capitolo 4.2.1, consiste nell' usare un elemento in una nuova funzione, diversa da quella originale. Questo è il parapetto della finestra presente al piano terra del prospetto principale, il quale venne realizzato con un cassettone romano risalente all'epoca augustea [43].



Figura 5.3: Dettagli della Casa dei Crescenzi, come le semicolonne e paraste del lato sud caratterizzate dai capitelli con laterizi risalenti ad antichi monumenti e i mattoni di recupero impiegati nell'arco ribassato del portale d'ingresso. Fonte immagini: [44].

Ancora un altro esempio di riuso nella storia è la Moschea di Cordova, in Spagna.



La moschea, oggi cattedrale, dichiarata patrimonio dell'UNESCO nel 1984, è considerata una delle principali espressioni dell'arte arabo-islamica e dell'architettura gotica e rinascimentale dell'Andalusia [45].

Una delle caratteristiche più singolari dell'architettura è la parte più antica, costituita da un edificio a pianta rettangolare suddiviso in undici navate, caratterizzate ciascuna da dodici arcate [45]. Le innumerevoli colonne di marmo che sostengono i doppi archi sono elementi di recupero, in quanto provenienti da delle rovine di edifici romani e visigoti [37].



Figura 5.4: In ordine: foto della parte posteriore del portico di Ottavia, epoca augustea. Fonte immagine: [46]. L'arco di Costantino oggi. Fonte immagine: [47]. La selva di colonne della moschea di Cordova. Fonte immagine: [48].

Alla luce di questi esempi storici e delle riflessioni precedenti, emerge chiaramente che il riuso è una strategia concretamente realizzabile. Il passo successivo consiste quindi nell'esplorare come pianificare il fine vita delle costruzioni, prendendo in considerazione le potenzialità del riuso fin dalle prime fasi di progettazione.

## 5.2 Progettare Edifici Circolari: Pianificare il Fine Vita in Ottica di Riuso

La pratica del riuso è strettamente legata al concetto di progettazione circolare, la quale implica non solo l'uso di materiali ed elementi di recupero, ma anche la pianificazione del loro riutilizzo futuro fino alla fine della loro vita utile, quando possono essere infine riciclati.

Questo approccio si basa su due principi fondamentali della progettazione e dell'edilizia circolare [49]:

- **La costruzione reversibile**, ovvero un approccio progettuale che adotta una visione a lungo termine, puntando a realizzare edifici capaci di evolversi e adattarsi nel tempo. Questo approccio interviene su diverse scale quale i materiali, i componenti e le connessioni tra questi e i sottosistemi;
- **La decostruzione selettiva**, ovvero un approccio che punta alla separazione di ciascun componente dell'edificio. Smontando ogni elemento, è possibile avviarlo a un nuovo ciclo di vita, preservandone il valore e l'energia incorporata;

Entrambe le strategie sono applicabili a qualsiasi trasformazione cui viene sottoposto un edificio, come processi di ampliamento, riduzione, ristrutturazione o demolizione, e condividono lo stesso obiettivo: prolungare la vita utile di ogni componente, preservandone le qualità tecniche, meccaniche e funzionali.

In tal modo, si riduce il numero dei rifiuti da costruzione e demolizione, la domanda di materie prime nelle nuove costruzioni e le emissioni di carbonio e gas serra in atmosfera.

Per comprendere al meglio i principi della decostruzione selettiva e della costruzione reversibile, bisogna partire dal concetto di edificio come oggetto che si evolve nel tempo modificando le sue parti per adattarsi a nuove funzioni o dimensioni [49]. Il padre di questo concetto è lo scrittore Stewart Brand il quale, nel suo libro pubblicato nel 1994 dal titolo *How buildings learn: What happens after they're built*,

sostiene che i migliori edifici sono quelli progettati per essere facilmente modificabili, in modo da adattarsi alle esigenze delle persone che li abitano.

Brand concepisce l'edificio come un oggetto composto da sei diversi strati [50], individuati raggruppando i componenti con durata di vita simile[51]:

1. "*Site*", ovvero il luogo dove sorge l'edificio, considerato di durata permanente;
2. "*Structure*", ovvero la struttura portante, la cui durata è la più lunga tra gli strati e può in alcuni casi superare i 200 anni;
3. "*Skin*", ovvero l'involucro dell'edificio, come la facciata, con una durata stimata di circa 50 anni, dopo i quali è necessario un cambiamento per adeguarsi agli standard tecnologici e alle tendenze attuali;
4. "*Services*", ovvero i componenti tecnici dell'edificio, come il cablaggio elettrico e gli impianti di riscaldamento o di ventilazione, la cui durata è stimata intorno ai 25 anni;
5. "*Space plan*" è l'insieme delle partizioni verticali ed orizzontali e i loro relativi rivestimenti, dalla durata stimata intorno ai 15 anni, dopo i quali è altamente possibile che possano essere modificati per adattare l'edificio a nuove funzioni, utenze o circostanze;
6. "*Stuff*", ovvero tutte i componenti di arredo interno per i quali viene stimata una durata molto breve in quanto frequentemente sostituiti;

Il concetto di edificio come struttura composta da differenti strati interconnessi fra di loro è alla base della progettazione circolare.

Per poter garantire la circolarità di un edificio è necessario che si prenda coscienza di ogni strato come connesso agli altri ma allo stesso tempo indipendente [49]. Questa indipendenza fa sì che possa essere facilmente modificato, sostituito o perfino smantellato senza il rischio di danneggiare l'elemento stesso, rendendo quindi il suo riutilizzo difficile se non impossibile, e senza il rischio di danneggiare gli altri elementi.

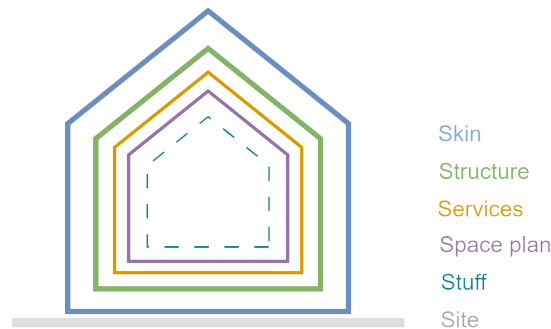


Figura 5.5: I sei strati componenti un edificio descritti da Stewart Brand nel libro "How Buildings Learn: What Happens After They're Built". Elaborazione personale sulla base del Manifesto di Openbuilding del 2021 [51].

Questa visione dell'edificio incorpora implicitamente il concetto di fine programmata: fin dalle prime fasi di design si pensa infatti alla fine della vita utile, progettando sin da subito il recupero e il riutilizzo delle risorse che compongono l'edificio.

Questa visione è alla base del cosiddetto Design for Deconstruction (DfD), un approccio progettuale che predispone gli edifici, sin dalle prime fasi di progettazione, allo smantellamento dei componenti e dei materiali [52].

Questa concezione dell'edificio come un deposito di risorse da poter recuperare e riutilizzare entra in conflitto con l'idea tradizionale per la quale un edificio è invece un oggetto permanente, progettato per resistere nel tempo [52].

Proprio per questa tradizione gran parte del patrimonio edilizio attuale, non solo in Svizzera ma anche nel resto d' Europa, non è stato progettato considerando lo smantellamento come parte integrante del ciclo di vita dell'edificio. Questo rende la decostruzione ancora una pratica in fase di ricerca e sviluppo, in quanto si deve interfacciare con tecniche costruttive non compatibili.

### 5.2.1 La Decostruzione Selettiva

Quando si giunge al fine vita di un edificio o costruzione ci sono diverse possibilità da perseguire [52]:

- **Mantenimento:** Include un set di azioni mirate al miglioramento dell'edificio per adattarlo alle nuove tecnologie sviluppate, ridurre il grado di obsolescenza e aumentare la longevità.
- **Ristrutturazione:** Trasforma l'edificio in modo che sia totalmente o parzialmente differente; si sostituiscono, eliminano, modificano o inseriscono nuovi componenti e sistemi.

Il vantaggio della ristrutturazione è la conservazione del patrimonio edilizio e il rinnovamento sostenibile degli edifici, riducendo le quantità di rifiuti da costruzione e demolizione. Tuttavia, rispetto alla demolizione (e successiva ricostruzione di un edificio con lo stesso volume) risulta più costosa, motivo per cui in Svizzera si preferisce spesso la demolizione.

- **Demolizione:** Consiste nello smantellamento distruttivo di un edificio per liberare rapidamente il sito di costruzione.  
È un processo veloce ed economico, ma poco sostenibile, poiché genera grandi quantità di rifiuti e richiede molta energia.
- **Decostruzione:** Consiste nello smantellamento selettivo, eseguito pezzo per pezzo, di tutti i componenti di un edificio, al fine di poterli recuperare e riutilizzare.

Si tratta in pratica di de-costruire un edificio, proprio come se si costruisse al contrario, isolando ogni elemento e generando un insieme di nuove risorse da impiegare in altre costruzioni [52].

In generale, la decostruzione è una tipologia di demolizione che si distingue per l'alta percentuale di separazione dei rifiuti da costruzione e demolizione ottenuta.

Esistono vari livelli di separazione che differenziano la demolizione tradizionale, caratterizzata da una separazione nulla, dalla decostruzione, che permette di separare ogni elemento.

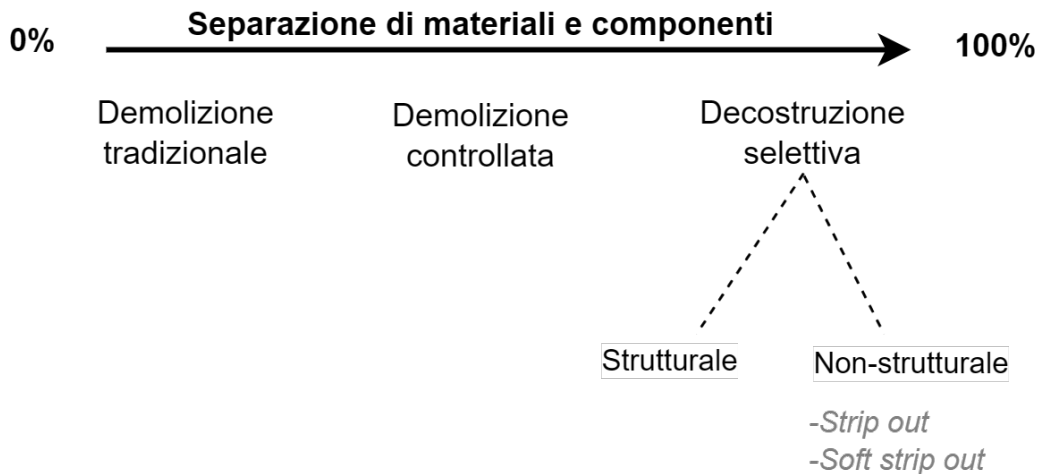


Figura 5.6: Schema illustrante le tipologie di demolizione ordinate in base alla percentuale crescente di separazione dei rifiuti da costruzione e demolizione, corrispondente quindi alla percentuale di riutilizzo possibile.

Elaborazione personale sulla base di: [32].

La demolizione tradizionale, come già affermato, è eseguita con tecniche distruttive, come esplosivi, pressioni indotte, pale demolitrici, e simili, che non consentono la separazione dei rifiuti. Questo metodo offre tuttavia velocità di esecuzione e basso costo, richiedendo poca manodopera [32].

Un'opzione intermedia è invece la demolizione controllata, che prevede la separazione parziale dei rifiuti a seconda della loro tipologia. Generalmente, si utilizzano escavatrici che frantumano o tagliano i vari materiali, rendendoli idonei solo al riciclo [32].

Questa soluzione è molto utilizzata oggi poiché, pur non essendo economica e veloce come la demolizione tradizionale, consente comunque tempi e costi relativamente contenuti e risponde alle recenti esigenze di minore impatto ambientale e di una gestione più sostenibile dei rifiuti.

A seguito dell'elaborazione di protocolli e documenti da parte dell'Unione Europea e del governo svizzero oramai si procede spesso in ottica di separazione dei rifiuti da costruzione e demolizione per favorirne il riciclo.

La demolizione selettiva, detta anche decostruzione selettiva, prevede lo smantellamento di ogni singolo componente dell'edificio con tecniche di precisione che richiedono manodopera e tempo, in modo tale da non danneggiarli. Optando per questo approccio si va ad aumentare il potenziale di recupero di tutto l'edificio, permettendo il riutilizzo o eventualmente il reimpiego del maggior numero di componenti possibili.

Per procedere con questa tipologia di demolizione si utilizzano strumenti che permettono un certo livello di precisione ed attenzione, come ad esempio seghe con fili diamantati o seghe da parete (per praticare fori, aperture, tagli e in generale separare gli elementi), pinze idrauliche manuali, troncatrici manuali a disco (per incidere o separare i vari materiali) e altri strumenti simili che comunque richiedono il lavoro manuale e minuzioso di un operatore [32].

A causa di queste caratteristiche, la decostruzione è certamente più impegnativa in termini di personale impiegato, risorse economiche e tempi.

	<b>Costo (Per Sq.Ft.)</b>	<b>Personale coinvolto</b>	<b>Durata</b>
<b>Demolizione</b>	4.94-11.64 \$	2-3 persone	2-3 giorni
<b>Decostruzione</b>	7.93-15.51\$	6-8 persone	10-15 giorni

Tabella 5.1: Comparazione fra un'operazione di demolizione e di decostruzione. La seconda arriva a costare quasi il doppio della prima in termini monetari e più del doppio in tempo di persone impiegate nel processo e nelle tempistiche. Fonte dati: [53].

Nonostante questi aspetti negativi, è importante sottolineare che la decostruzione offre molti vantaggi. Oltre al recupero di materiali e componenti, alla riduzione dell'impatto ambientale e al minor uso di risorse non rinnovabili, ci sono ulteriori benefici significativi.

Secondo due studi condotti dal Delta Institute di Chicago [54] [53], questi includono:

- Produzione di meno polvere durante il processo di smantellamento;

- Riduzione del rischio di inalare particolato;
- Rimozione di strutture obsolete che potrebbero essere pericolose [54];
- Creazione di nuove opportunità lavorative nei processi di demolizione, stoccaggio, trasporto, vendita e manutenzione [54];

Oltre a tutto questo, il protocollo redatto dalla Commissione Europea per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, analizzato nel capitolo 2.2, riporta tra gli obiettivi da perseguire proprio quello di eseguire uno smantellamento manuale su una gamma di materiali e componenti il più ampia possibile, proprio per permetterne il riutilizzo [11].

Procedendo con la decostruzione selettiva si esegue, di fatto, una "microdemolizione" [32] che consente di separare i vari componenti e materiali in quattro categorie [32]:

- Elementi e componenti riutilizzabili (possibilmente la più grande)
- Materiali riciclabili
- Materiali contenenti sostanze pericolose
- Materiali da destinare ad incenerimento o discarica

Nello specifico, tra le tecniche proprie della decostruzione vi sono lo strip out e il soft strip out.

Lo strip out si riferisce all'isolamento e alla rimozione precisa e controllata di tutti quei materiali e componenti che caratterizzano l'edificio [32], lasciando a nudo la struttura portante. Questo processo, denominato decostruzione non-strutturale [52], riguarda appunto tutti quegli elementi non strutturali che non incidono sull'integrità dell'edificio [52]. Proprio perché si arriva come risultato alla struttura nuda, lo strip out è anche tipico dei processi di ristrutturazione.

L'operazione di strip out può quindi includere la rimozione di partizioni interne verticali e orizzontali, porte, finestre, materiali di rivestimento e partizioni esterne





Figura 5.7: Decostruzione selettiva non strutturale dell'edificio per uffici Orion a Zurigo. Da destra: rimozione manuale del rivestimento in pietra, rimozione delle finestre tramite ventose, rimozione della lamiera e dell'isolamento posto in facciata. Fonte immagini: [49].

verticali e orizzontali, richiedendo spesso operatori specializzati e macchinari per uno smantellamento controllato [32]. Proprio per questo richiede tempi e costi più elevati.

Il soft strip out è una sotto-tipologia dello strip out. Mentre lo strip out rappresenta un processo di "scheletrizzazione" [32] dell'edificio, lasciando solo la struttura nuda, il soft strip out si concentra sulla rimozione di singole tipologie di elementi non strutturali (come tutti gli impianti o le tamponature) oppure sulla rimozione di elementi appartenenti a specifici ambienti dell'edificio.

Entrambi i metodi, sia il soft strip out che il generico strip out, riguardano la parte non portante dell'edificio. Quando si parla di smantellare la struttura portante, si fa riferimento invece alla decostruzione strutturale [52] una pratica che presenta maggiori difficoltà e complessità, traducendosi in tempi e costi ancora più elevati.

Partendo dal concetto di edificio come struttura composta da strati, vediamo nel dettaglio come ciascuno di essi si relaziona alla decostruzione.

- Stuff - Arredi interni.

Gli arredi interni comprendono bagni, cucine e arredi fissi come armadi, scaffalature e corrimano. Se in buone condizioni, possono essere facilmente smontati con semplici strumenti e destinati al mercato secondario, includendo negozi



Figura 5.8: Decostruzione selettiva strutturale, da destra: un operatore taglia tramite apposita sega una soletta in calcestruzzo, operazione di rimozione della soletta tramite gru, elementi portanti di una pista di pattinaggio decostruita. Fonte immagini: [49].

d'antiquariato, negozi online e piattaforme di vendita su social network [49]. La loro decostruzione non presenta particolari difficoltà, se non quelle legate a connessioni non progettate per essere reversibili che possono danneggiarsi durante la rimozione [49]);

Un esempio della decostruzione degli arredi interni viene presentato dallo studio "Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion" (Decostruzione selettiva- Costruzione reversibile) pubblicato dall'università di Losanna nel 2021 per comprendere e promuovere il riutilizzo nel settore delle costruzioni in Svizzera. Lo studio descrive la decostruzione selettiva di una casa degli anni '50 a Zollikofen, comune del Canton Berna, dove gli elementi di cucina, bagno e arredi fissi di una casa degli anni '50 sono stati smontati, puliti, testati e successivamente venduti [49];

- Space plan - Partizioni interne verticali e orizzontali.

Questi componenti, inclusi i relativi rivestimenti e porte, sono facilmente rimovibili se realizzati tramite connessioni "a secco", ovvero connessioni meccaniche (come bulloni, chiodi, perni, viti, piastre, anelli, etc) le quali sono reversibili [49]. Al contrario, connessioni "umide" come colle, malte e resine compromettono l'indipendenza dei singoli elementi, rendendo impossibile

separarli senza danneggiarli [49];

- Services - elementi tecnici.

Si tratta di tutte le componenti relative agli impianti di riscaldamento, ventilazione, idraulici ed elettrici [52] [49]. La loro indipendenza dagli altri strati è cruciale poiché molti edifici vengono demoliti perché i vecchi impianti sono impossibili da sostituire o ispezionare [52] in quanto spesso inseriti nel calcestruzzo o nel massetto [49]. Progettandoli per essere accessibili, come nei controsoffitti, possono essere smontati e riutilizzati, se in buone condizioni. Tuttavia, devono essere testati per verificarne la conformità agli standard di legge del paese in cui si trovano;

- Skin - l'involucro dell'edificio.

L'involucro esterno non portante (facciate e coperture) può essere facilmente smontato se i vari elementi presentano connessioni meccaniche, come nel caso di vetrate, pannelli o lastre [49]. Un aspetto interessante da notare è come spesso le facciate degli edifici residenziali presentano più problemi rispetto a quelle degli edifici destinati ad uffici a causa delle tecniche costruttive differenti [49].

Elementi come le finestre, solitamente indipendenti, sono invece facilmente smontabili e riutilizzabili, sempre dopo aver testato la conformità delle loro proprietà [52].

Nelle chiusure orizzontali, lo smantellamento selettivo è facilitato per elementi fissati meccanicamente, come tegole ad incastro, ardesie e lastre avvitate, o per elementi granulari come la ghiaia [49];

- Structure - la struttura portante. Considerando che la maggior parte dell'attuale patrimonio edilizio è stato progettato per durare nel tempo e non per essere smantellato, risulta chiaro come la struttura portante sia la parte più difficile da sottoporre a decostruzione, portando spesso alla scelta della demolizione.

È per questo che risulta fondamentale considerare la possibilità di demolizione già nelle fasi di progettazione, per rendere più agevole il processo in futuro;

Analizzando le caratteristiche dei sistemi costruttivi più comuni, i problemi legati alla loro decostruzione e le possibili soluzioni, ecco cosa si può concludere:

- Murature in laterizio. Questi muri sono realizzati con laterizi connessi tramite leganti come malta o calce, caratteristica che rende il sistema non adatto alla decostruzione. Separare i singoli mattoni dal legante porta quasi inevitabilmente alla loro rottura o compromissione come elementi strutturali [52]. Come descritto nel capitolo 5.4 lo studio danese Lendager ha trovato una soluzione al problema nel progetto Resource Rows, dove vengono impiegati proprio mattoni di recupero. Questo è stato possibile perché invece di separare i singoli mattoni sono stati tagliati dei moduli di un metro quadro che sono stati poi usati per la costruzione delle pareti esterne dell'edificio [55].

Un'altra soluzione riguarda invece l'impiego di mattoni (o anche pietre) uniti fra di loro da elementi in plastica o metallo, che possono essere facilmente rimosse [52]. Un esempio è il prodotto Drystack dell'azienda olandese Stonecycling, che utilizza connessioni in poliammide (PA) [56] la quale offre resistenza meccanica e chimica. Questo metodo, certificato come solido e sicuro al 100% in Olanda, elimina la necessità di usare malta o altri leganti, permettendo comunque la realizzazione di strutture architettoniche complesse [56];

- Calcestruzzo armato gettato in opera. La decostruzione di questo tipo di sistema costruttivo è estremamente difficile a causa della sua caratteristica principale, ovvero i nodi trave-pilastro monolitici continui [52] i quali rendono quasi impossibile la separazione dei singoli elementi. Attualmente, la soluzione più sostenibile consiste nello smantellamento mirato per isolare le barre metalliche, che possono essere riutilizzate o,



Figura 5.9: Esempio di parete interna costruita secondo il sistema Drystack. Dall'immagine è possibile notare l'elemento di connessione fra le file di laterizi in poliammide. Fonte immagine: [56].

più frequentemente, riciclate [52]. Il calcestruzzo può essere frantumato e riutilizzato per creare nuovi leganti, ma il suo riciclo richiede trattamenti di pulizia significativi, poiché le impurità eventualmente presenti potrebbero compromettere la qualità strutturale futura [52];

- I telai in acciaio sono strutture particolarmente adatte alla decostruzione, specialmente quando le connessioni sono realizzate con bulloni, i quali possono essere rimossi con facilità [52]. Al contrario, le connessioni realizzate mediante saldatura complicano il processo, poiché richiedono l'uso di strumenti specifici e tempi più lunghi per essere smantellate;
- I telai in legno sono tra i sistemi costruttivi più adatti alla decostruzione e al riuso dei componenti.

Le loro connessioni, eseguite tramite chiodi, viti, incastri o altri sistemi a secco [52], permettono di smontare facilmente la struttura senza danneggiarla, consentendo il riutilizzo di ogni elemento;

In conclusione, la decostruzione è indubbiamente l'opzione più sostenibile da intraprendere alla fine della vita di un edificio.

Essa consente il riutilizzo degli elementi appartenenti ai vari strati della costruzione, riducendo così i rifiuti da costruzione e demolizione e diminuendo la domanda e il consumo di materie prime. È certamente vero che la decostruzione comporta costi più elevati e tempi più lunghi rispetto alla demolizione, ma, oltre ai benefici ambientali già menzionati, mantenere in circolazione gli elementi edilizi permette di conservare il know-how e il valore storico insito in essi e crea inoltre nuove opportunità di lavoro per i professionisti coinvolti nel processo di decostruzione e manutenzione.

Tuttavia, la decostruzione rappresenta attualmente una sfida significativa a causa della tipologia di edifici esistenti, spesso caratterizzati da sistemi costruttivi non adatti a questo tipo di operazione. È quindi essenziale, in primo luogo, essere consapevoli di questa realtà per progettare edifici futuri in linea con la visione della progettazione circolare e della decostruzione. Ciò implica, ad esempio, ridurre la complessità degli edifici, minimizzando il numero dei componenti, utilizzando elementi modulari e connessioni a secco che siano facilmente ispezionabili [52].

Accettare questa sfida significa inoltre, per progettisti e architetti, mettersi in gioco per trovare soluzioni che permettano di riutilizzare il maggior numero possibile di elementi.

## 5.3 Le Sfide e gli Ostacoli del Riuso nell'Edilizia Contemporanea

Il riutilizzo o re-impiego di componenti e materiali edilizi, sia nel panorama europeo che in quello svizzero, come già più volte sottolineato, va attualmente a rilento, tanto che si stima che meno dell'1% dei materiali scartati come rifiuti da costruzione e demolizione vengano effettivamente riutilizzati [36].

Le cause alla base della limitata pratica di riuso nel settore edilizio sono diverse:

### 1. Tecnologie costruttive.

Molti edifici dell'attuale panorama immobiliare non sono stati progettati in ottica di riutilizzo. Infatti, come analizzato nel capitolo 3.1, più del 30% degli edifici costruiti in Svizzera tra il 1946 e il 1960 e oltre il 60% di quelli realizzati dagli anni '60 al 2000 sono stati costruiti utilizzando calcestruzzo gettato in opera [15].

Questo, unitamente a metodi di costruzione che prevedono pacchetti di materiali combinati fra di loro in maniera spesso irreversibile, rende difficile o addirittura impossibile lo smontaggio degli elementi.

Come analizzato nel capitolo 5.2.1, ciò si traduce in tempi di de-costruzione prolungati e costi elevati, che spesso incentivano l'uso di nuovi materiali o il ricorso al riciclo anziché al riuso [49].

Un'altra complicazione legata alle vecchie tecniche costruttive è il rischio di diffusione nell'ambiente di micro plastiche o altre sostanze nocive durante le operazioni di smantellamento, come per esempio le fibre di lana di vetro contenute nella lana minerale usata generalmente come isolante o l'amianto [32]. In Svizzera L'OPSR identifica l'anno 1990 come soglia per verificare la presenza dell'amianto e il 1995 per la lana di vetro [32];

### 2. Standard di qualità.

Gli elementi scelti per il riutilizzo devono soddisfare specifici standard di qualità. È evidente quindi che il riutilizzo comporta molte più sfide in termini

di conformità ai requisiti di qualità rispetto al reimpiego. Considerando per esempio un elemento come una finestra, affinché possa essere riutilizzata come tale deve soddisfare numerosi criteri di qualità, mentre sarebbe più semplice reimpiegarla come divisorio tra ambienti [31];

### **3. Trasporto e stoccaggio.**

La fattibilità del riutilizzo o del reimpiego di un elemento dipende anche dalla differenza temporale tra il momento T1, ovvero quando l'elemento viene smantellato, e il momento T2, ovvero quando l'elemento sarà integrato nel nuovo progetto. Se T1 e T2 coincidono, non sarà necessario considerare siti di stoccaggio temporanei; diversamente, diventerà indispensabile [31].

Inoltre, il trasporto degli elementi dal sito di smantellamento a quello di stoccaggio e successivamente dallo stoccaggio al sito di costruzione potrebbe compromettere la sostenibilità del riutilizzo in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>. Tuttavia, è fondamentale considerare un bilancio energetico che confronti l'energia impiegata nel trasporto con quella necessaria per la produzione dei nuovi elementi [31];

### **4. Incentivo monetario.**

Attualmente, i committenti considerano l'attività di demolizione come un costo da ridurre al minimo assoluto, cercando inoltre di abbreviare i tempi il più possibile. Tuttavia, per facilitare il recupero dei materiali e componenti, sono necessarie una serie di operazioni che non sono sempre economicamente vantaggiose. In epoche passate, i componenti venivano riutilizzati con maggiore frequenza perché più costosi. Oggi, il confronto tra il costo del materiale nuovo e le ore di lavoro richieste per le operazioni di recupero spesso scoraggia l'adozione del riutilizzo [57];

### **5. Mancanza di inventari digitalizzati.**

Una delle principali ragioni per cui il mercato dei componenti edilizi riutilizzati procede lentamente è la difficoltà nel reperire informazioni riguardanti la disponibilità, la localizzazione e la quantità di tali elementi o materiali [57].



Attualmente, per determinare cosa può essere recuperato da un edificio durante lo smantellamento, è necessario condurre ispezioni dettagliate, traforare le pareti, analizzare le tecniche di giunzione, identificare i materiali e catalogarli, il che richiede notevole tempo e risorse finanziarie e purtroppo, pochi committenti sono disposti a investire in questo.

Inoltre, oltre alla mancanza di un inventario completo digitalizzato, manca anche una prospettiva temporale documentata sulle demolizioni pianificate degli edifici, che consentirebbe di conoscere in anticipo la disponibilità di elementi e materiali riutilizzabili in modo da poterli includere in nuovi progetti [57];

#### **6. Abitudini socioculturali.**

Il riutilizzo o reimpiego dei vari elementi costruttivi e non presenta spesso un' incompatibilità con i pensieri dei committenti, degli utilizzatori e talvolta anche degli operatori professionali [31]. Senza un'adeguata informazione e consapevolezza è presente, infatti, una certa riluttanza nell'incorporare componenti usati in nuove costruzioni, in quanto veniamo spesso influenzati da pregiudizi che vedono l'elemento oggetto del riutilizzo come un rifiuto da scartare e non come una risorsa. Dal periodo industriale si è infatti affermata man mano l'idea che il nuovo sia inevitabilmente migliore e i clienti non sono disposti a pagare lo stesso prezzo per qualcosa che considerano vecchio [57];

#### **7. Assenza di criteri specifici nelle certificazioni ambientali.**

Si nota la mancanza di considerazione della pratica del riutilizzo di elementi e materiali da costruzione nei protocolli di valutazione e certificazione ambientale esistenti.

Nello specifico, questi protocolli costituiscono un sistema di valutazione multicriterio utilizzato per appunto valutare le prestazioni e i requisiti ambientali di un edificio.

Per ognuno dei criteri viene solitamente assegnato un punteggio, contribuendo infine a determinare il punteggio totale di merito dell'edificio.

Attualmente, questi protocolli rivestono un'importanza cruciale, poiché offrono una visione completa dell'impatto ambientale di una costruzione e vengono utilizzati sia da enti pubblici che privati come criterio aggiuntivo nella selezione di progetti durante gare d'appalto o competizioni;

Alcuni dei protocolli più diffusi sono:

- Il protocollo inglese BREEAM
- Il protocollo americano LEED
- Il protocollo svizzero Minergie-Eco
- Il protocollo italiano ITACA
- Il protocollo francese HQE

Questi protocolli raramente riportano criteri specifici sul riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione all'interno di altri progetti. Si fa menzione di materiali riciclati, ma la pratica del riutilizzo viene solo accennata o trattata implicitamente.

Prendendo ad esempio i protocolli svizzeri, i più diffusi sono il Minergie-Eco e lo Standard Costruzione Sostenibile Svizzera (SNBS). Concentrandoci sul Minergie-Eco, in quanto lo SNBS si basa per gran parte su di esso, vediamo che i criteri si suddividono in due principali aree:

- Salute, comprendente criteri legati ai sistemi di ventilazione, alle sostanze inquinanti, alla protezione acustica e all'illuminazione degli ambienti [58];
- Ecologia, comprendente i criteri relativi alla protezione del clima e delle risorse, all'economia circolare, alla biodiversità, al ciclo dell'acqua e alla resilienza climatica [58];

Come negli altri protocolli, a ogni requisito viene assegnato un punteggio in base al suo soddisfacimento, determinando infine l'ottenimento o meno della label di Minergie-Eco.

Analizzando i requisiti da soddisfare per ottenere la certificazione, notiamo l'assenza di specifiche riguardanti il riutilizzo dei rifiuti da costruzione, demolizione o trasformazione. Il concetto del riutilizzo si può tuttavia trovare implicitamente in alcuni requisiti appartenenti alla tematica dell'ecologia, come ad esempio:

- Requisito 220-04: Circolarità.

Secondo questo requisito, prima di avviare un progetto di demolizione parziale o totale con un volume di smantellamento superiore a  $100\text{ m}^3$  [59], è necessario condurre un'analisi del potenziale circolare dei materiali edili e degli elementi costruttivi presenti. Questo significa valutare concretamente la possibilità di mantenere questi materiali in circolo e riutilizzarli. Se si porta a termine quest'analisi, si ottiene un punto. Inoltre, se si riesce a mantenere in circolo il 75% dell'intero volume degli elementi costruttivi e dei materiali edili smantellati, si guadagnano altri 3 punti [58];

- Requisito 220-06: Facilità di smantellamento.

Per rispettare questo requisito, è necessario utilizzare sistemi di fissaggio sostituibili per l'involucro edilizio, la struttura secondaria o gli impianti elettrici. Ottenere un punto richiede l'impiego di tali sistemi per uno dei gruppi sopra menzionati, mentre per ottenere due punti, è necessario applicarli a due di questi gruppi [58]. Questi sistemi di fissaggio sostituibili (ovvero eseguiti a secco) consentono lo smantellamento futuro della struttura e la possibilità di rinforzare o sostituire vari elementi senza danneggiare quelli adiacenti. [58];

Da sottolineare è che, secondo Minergie, l'architetto è la figura responsabile di tali requisiti.

Un altro esempio è il protocollo statunitense LEED, il quale si basa sull'assegnazione di punti relativi ai cosiddetti crediti, ovvero requisiti da soddisfare i quali vengono suddivisi in sette categorie. L'insieme totale dei punti assegnati determina la classificazione dell'edificio come "LEED Certificato", "LEED Argento", "LEED

Oro" o "LEED Platino". All'interno di questo protocollo, similmente a quello svizzero, il riutilizzo di elementi costruttivi non è mai esplicitamente elencato come credito, ma se ne parla in alcune categorie:

- Nella categoria "Siti sostenibili", nel credito "Valutazione del sito", è richiesto un approfondito esame delle condizioni del sito e dei fattori sociali e culturali prima della fase di progettazione. Questo include la valutazione delle opzioni sostenibili disponibili. Per adempiere a questo requisito, è necessario compilare un documento dettagliato contenente informazioni su tematiche quali per esempio la topografia, l'idrologia, la vegetazione e il terreno. Tra queste informazioni, è cruciale includere dettagli sull'uso umano delle risorse, compresa la presenza di materiali edili con potenziale di riciclo o riutilizzo [60];
- Nella categoria "Materiali e risorse", nel credito "Riduzione dell'impatto del ciclo di vita dell'edificio", l'obiettivo è promuovere il riutilizzo adattivo di edifici e materiali. Questo significa favorire l'adattamento di un edificio a nuovi scopi, mantenendo intatta la sua struttura portante e l'involucro, oppure integrare all'interno dell'edificio materiali già utilizzati in precedenza. È importante sottolineare che l'attenzione è concentrata principalmente sul riutilizzo adattivo della costruzione [60];
- Nella categoria "Materiali e risorse", nel credito "Scelta delle materie prime", l'obiettivo è selezionare con responsabilità le materie prime, orientando la scelta verso quelle che hanno il minor impatto ambientale, economico e sociale. Tra i vari criteri che definiscono una scelta "responsabile" emerge proprio la scelta di materiali ed elementi di recupero [60];

Anche altri protocolli riportano la stessa mancanza di approfondimento circa la tematica del riutilizzo, come per esempio il BREEAM, il quale si limita a riportare all'interno della categoria dei materiali un'osservazione secondo la quale il riutilizzo dei prodotti edilizi poiché comporta importanti vincoli di progettazione è da prendere in considerazione soltanto se si dimostra un impatto ambientale effettivamente

inferiore rispetto all'utilizzo di materiali provenienti da altre fonti o riciclati. Tale dimostrazione dev'essere supportata da un'analisi LCA (Life Cycle Assessment), ovvero un'analisi dell'impatto ambientale del prodotto durante tutto il suo ciclo di vita [61].

L'inclusione dettagliata e concreta della pratica del riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione nei vari sistemi di valutazione della sostenibilità degli edifici sarebbe sicuramente un forte incentivo per i progettisti e gli stakeholders.

Anche coloro che potrebbero infatti non essere motivati eticamente a causa di un disinteresse per le questioni ambientali sarebbero incoraggiati a intraprendere questa pratica per ottenere punti e, di conseguenza, certificazioni che faciliterebbero il successo nelle competizioni o nelle gare d'appalto, andando a portare un ritorno economico tangibile.

Nel prossimo capitolo verranno presentati alcuni progetti in cui il riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione rappresenta una caratteristica centrale e fondamentale. Questi progetti dimostrano come, nonostante le difficoltà appena descritte, i progettisti siano riusciti a integrare il riutilizzo o il re-impiego dei materiali, evidenziando che, sebbene questo approccio sia ancora poco conosciuto e studiato, il settore edilizio è già pronto per sperimentarlo.

## 5.4 Esempi di Riutilizzo dei Rifiuti C&D nel Panorama Svizzero e Internazionale

### 5.4.1 Kopfbau Halle 118

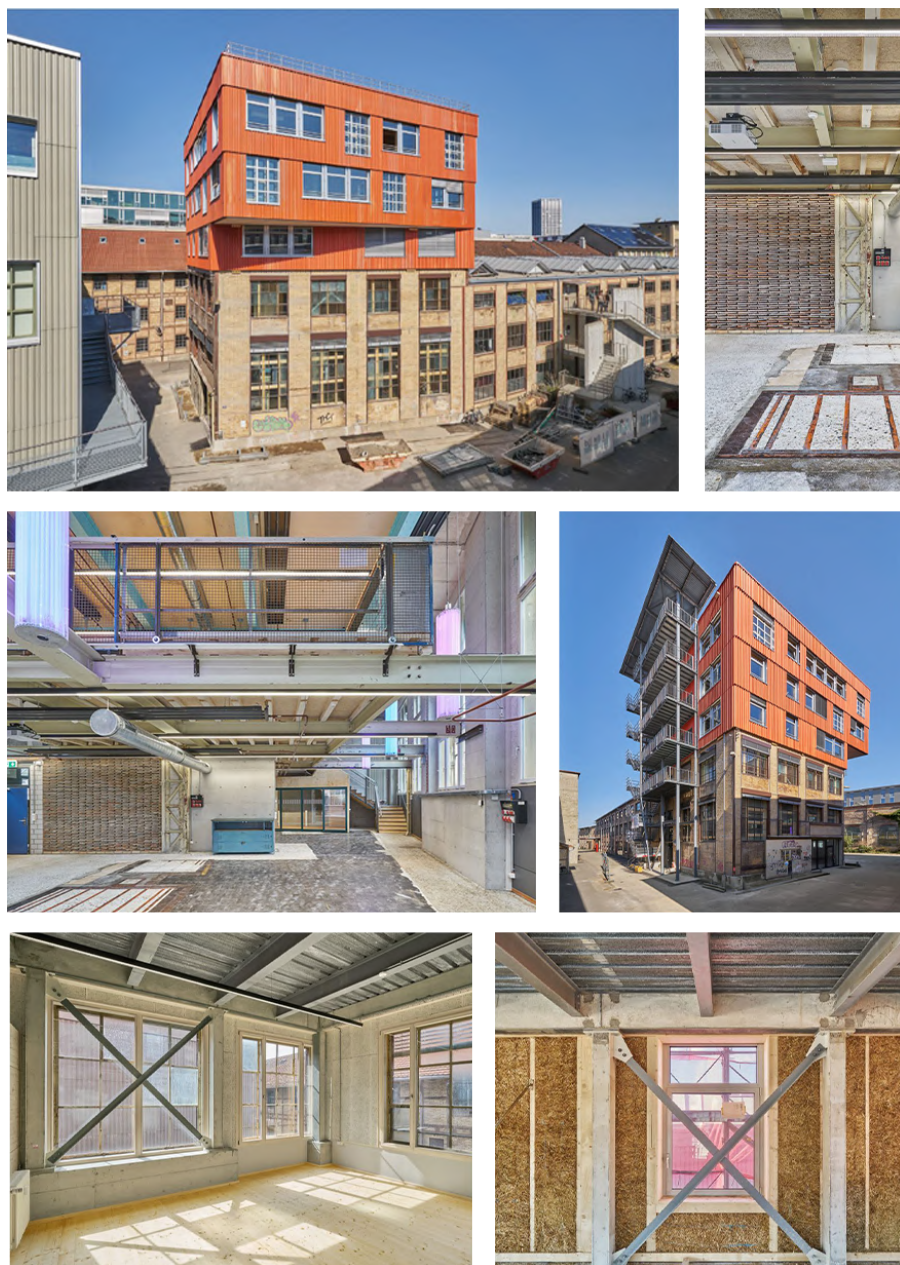


Figura 5.10: Kopfbau Halle 118. Fonte immagini: [62]

Il progetto K.118, dello studio svizzero "Baubüro in situ", rappresenta l'esempio più emblematico di riutilizzo e re-impiego di materiali ed elementi costruttivi provenienti da edifici demoliti. Proprio per questo ha guadagnato nel 2021 il primo posto nell'"*Holcim Awards for Sustainable Construction*", il concorso più importante al mondo riguardante proprio la progettazione sostenibile.

Il progetto di 1500 mq vede la sopraelevazione di un edificio di uffici situato nella città di Winterthur, nel nord della Svizzera. La struttura portante del nuovo edificio è stata realizzata utilizzando travi in acciaio recuperate da un supermercato a Basilea, mentre un intero corpo scala in acciaio, proveniente dall'oramai demolito edificio per uffici Orion a Zurigo, è stato utilizzato come connessione verticale esterna per i nuovi piani dell'edificio [62].

Anche il rivestimento della facciata è stato realizzato riutilizzando rifiuti da demolizione, nello specifico lamiere in metallo, le quale hanno contribuito così a definire l'aspetto estetico dell'edificio [62].

Ogni elemento del progetto, incluse per esempio le finestre in alluminio, l'isolamento, le pavimentazioni e gli arredi, è stato recuperato da edifici demoliti o da altre fonti.

Grazie a queste scelte, è stato possibile ridurre del 60% l'energia che sarebbe stata necessaria per una costruzione "tradizionale". Inoltre, sono state risparmiate 500 tonnellate di materie prime, dimostrando così l'efficacia e il vantaggio ambientale del ricorso al riutilizzo nei progetti edilizi [62].



### 5.4.2 Zero Waste - Umbau TRANSA



Figura 5.11: Zero Waste - Umbau TRANSA. Fonte immagini: [63]

Un interessante progetto dello studio svizzero "Baubüro in situ" è denominato "Zero Waste" e riguarda la ristrutturazione (appunto umbau) della sede centrale



dell'azienda Transa Backpacking, situata nel Kreis 5 di Zurigo. Questa ristrutturazione è stata realizzata minimizzando la demolizione e massimizzando il riutilizzo dei materiali disponibili. Ad esempio, l'isolamento acustico del soffitto è stato rimosso, tagliato e successivamente impiegato nelle pareti interne, realizzate con una struttura a montanti di legno composta da listelli riutilizzati [63].

Un'altra particolarità del progetto è l'approccio estetico che prevede l'esposizione delle superfici grezze e dei materiali, combinandoli in modo intenzionalmente contrastante. Infine, per ottenere un ambiente luminoso e trasparente, sono state utilizzate come divisori delle finestre provenienti da un complesso residenziale demolito nel quartiere di Altstetten [63].

### 5.4.3 Grande Halle

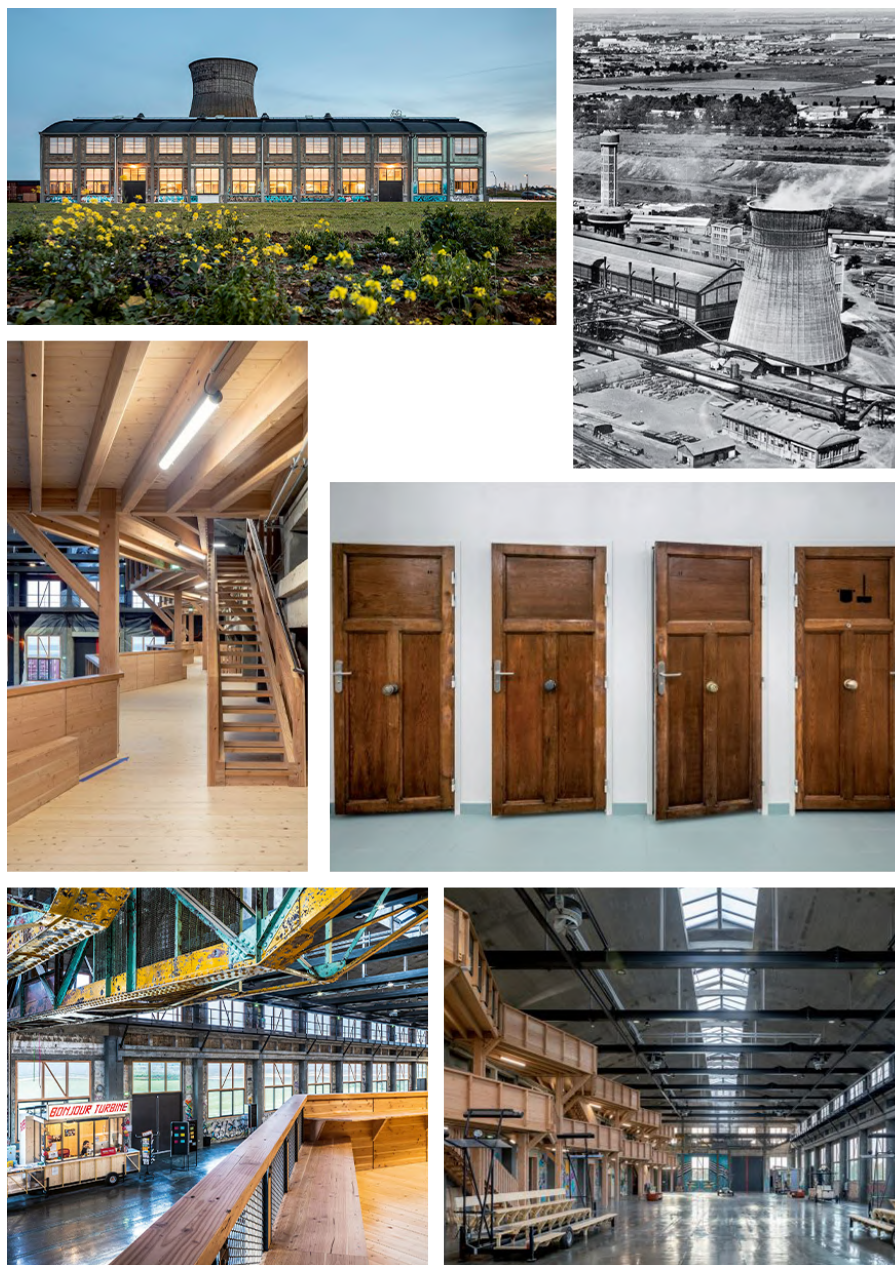


Figura 5.12: Grande Halle. Fonte immagini: [64]

La Grande Halle di Colombelles, un imponente complesso industriale situato nella zona della Normandia, è stato abbandonato nel 1993 a seguito della crisi che ha colpito il settore della metallurgia nella regione [64].

Questo complesso comprendeva una grande torre di raffreddamento in cemento insieme ad un padiglione caratterizzato da due navate nel medesimo materiale [64]. Dopo oltre 25 anni di abbandono, su proposta di Normandie Aménagement, l'edificio è stato riconvertito e riqualificato in un luogo polifunzionale, grazie al lavoro dei progettisti Aubry & Guiguet ed agli architetti di Construire e d'Encore Heureux-studio [64].

Uno degli obiettivi centrali della riqualificazione era quello di creare, oltre ad un centro polifunzionale, una vetrina del riuso e dell'economia circolare. Pertanto, fin dalle prime fasi di progettazione, sono stati ricercati ed utilizzati materiali provenienti da vari siti in demolizione della regione.

Gli elementi di riuso impiegati nella riconversione della Grande Halle di Colombelles comprendono ad esempio radiatori in ghisa, elementi di metallo o legno utilizzati per realizzare le balconate dello spazio interno, rivestimenti in terracotta e piastrelle, infissi riutilizzati come divisori di spazi, materiali per l'isolamento acustico e persino alcune porte antincendio.

Questa pratica di riuso non solo ha contribuito al carattere sostenibile del progetto, ma ha anche valorizzato il patrimonio storico e architettonico della struttura, offrendo un esempio concreto di come sia possibile integrare l'economia circolare nella progettazione.

Durante la sua realizzazione sono state inoltre coinvolte numerose attività e competenze locali, creando così una connessione tra la sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

#### 5.4.4 Häxenhüsli



Figura 5.13: Häxenhüsli, Andreas Wherli. Fonte immagini: [65]

Nella città di Fraunfeld, capitale del Cantone Turgovia, ha trovato luogo un progetto di rilocalizzazione di un'abitazione storica di 170 anni. Si tratta di una cosiddetta "Häxenhüsli", una tipica casa svizzera della seconda



metà del 1800 che potrebbe essere considerata una "tiny house" d'epoca, essendo un'abitazione di pochi metri quadri distribuiti su due livelli.

In particolare l'Häxenhüsli protagonista della rilocalizzazione fu costruita nel 1851 per Andreas Wehrli, all'epoca membro del consiglio comunale di Fraunfeld [65].

Nel 2017, i proprietari del terreno dove si trovava l'edificio hanno incaricato l'architetto Gabriel Müller di restaurare due immobili nelle vicinanze dell'Häxenhüsli e di costruire un parcheggio interrato. Nonostante il desiderio di conservare l'edificio storico, è stato tuttavia ritenuto necessario demolirlo per creare spazio per l'accesso al parcheggio sotterraneo [65].

L'architetto, esperto nel restauro di edifici storici, ha quindi progettato il trasferimento dell'Häxenhüsli in un terreno di sua proprietà per preservarne la qualità e il suo patrimonio culturale e storico.

Ogni singolo elemento è stato smantellato con cura ed etichettato per agevolare una ricostruzione precisa [65]. Si è cominciato rimuovendo gli elementi d'arredo storici, per poi procedere con la rimozione delle tegole, delle capriate del tetto, dei controsoffitti e delle murature esterne, fino a eliminare anche tutti i mattoni che costituivano la volta del piano interrato, la quale è stata poi ricostruita interamente nel nuovo sito [65].

### 5.4.5 KREIS-Haus



Figura 5.14: KREIS-Haus. Fonte immagini: [66]

La KREIS-Haus è un progetto sviluppato dal gruppo di ricerca sulle ecotecnologie ZHAW e si trova a Hombrechtikon, nel Canton Zurigo [66]. L'acronimo KREIS sta per "Klima und Ressourcen-Effizientes Suffizienz Haus", che si traduce come

"Casa sufficiente ed efficiente in termini di clima e risorse" [66]. Il progetto consiste in una piccola unità abitativa sviluppata attorno ad un patio centrale.

Realizzata seguendo i principi dell'economia circolare, la casa impiega una varietà di materiali, tra cui argilla e legno, oltre a materiali riciclati e riutilizzati. Ad esempio, il pavimento è realizzato con parquet riutilizzato, mentre davanzali, finestre e porte provengono da siti di demolizione locali [67]. Per assicurare un'elevata efficienza energetica con le finestre riutilizzate, sono state installate due finestre una dietro l'altra, creando un'efficace barriera isolante equivalente ad un triplo vetro [67].

I davanzali delle finestre sono realizzati con piastrelle in gres porcellanato di recupero, tagliate su misura e posizionate sul lato est della casa [67]. L'intera struttura poggia su fondazioni a vite, le quali possono essere riutilizzate in caso di decostruzione. Anche il rivestimento del tetto è composto interamente da materiali di recupero, confermando l'impegno del progetto verso la sostenibilità e l'economia circolare [67].

#### 5.4.6 Tiles Garden e il Ningbo Historic Museum



Figura 5.15: Ningbo Historic Museum. Fonte immagini: Domusweb, Archilovers

Wang Shu, l'architetto cinese vincitore del premio Pritzker nel 2012 e del Global Award for Sustainable Architecture nel 2017, si è distinto per il suo impegno in un'architettura spontanea, legata alle tradizioni cinesi.

Insieme alla moglie Lu Wenyu, co-fondatrice dello studio Amateur Architecture



Studio, ha incentrato il suo lavoro sulla reinterpretazione e la riscrittura dell'architettura tradizionale cinese in chiave moderna attraverso la pratica del riutilizzo.

Un esempio di ciò è l'installazione Tiles Garden, presentata accanto al padiglione cinese durante la Biennale di Architettura di Venezia nel 2006.

L'installazione consiste in una struttura in bambù rivestita con 66000 piastrelle recuperate da edifici demoliti nella loro regione cinese, ponendosi come manifesto del riutilizzo dei materiali da costruzione e demolizione.

Per l'ideazione dell'installazione Wang Shu e Lu Wenyu si sono basati sull'antica tecnica cinese dello *wa pan*, che prevedeva il recupero e il riutilizzo di mattoni e tegole in ceramica provenienti dai villaggi demoliti dai cicloni e impiegati per la ricostruzione degli stessi.

Lo stesso approccio è evidente in un altro progetto di Wang Shu, ovvero il museo di Storia di Ningbo. L'edificio, che da lontano appare come un parallelepipedo massiccio, rivela dettagli disomogenei e irregolarità man mano che ci si avvicina. I muri storti, le porzioni mancanti e le finestre disposte in modo apparentemente casuale sono tutti elementi pensati affinché si richiami l'aspetto frastagliato ed irregolare delle montagne.

Le pareti del museo sono realizzate secondo la tecnica del *wa pan*, riutilizzando quindi tegole e mattoni riciclati provenienti da diversi siti nella regione, connettendo in un certo senso il museo al passato ed alla storia locale.

In un'intervista per la rivista Domus, Wang Shu ha sottolineato l'importanza di preservare e trasmettere gli antichi saperi artigianali come il *wa pan*. Gli architetti contemporanei, secondo lui, hanno il compito di incorporare tali tradizioni nei loro progetti per mantenere vive le culture e le tecniche costruttive tradizionali.

### 5.4.7 Karstadt Re-Parked



Figura 5.16: Karstadt Re-Parked. Fonte: [68]

Lo studio di architettura danese Lendager ha sviluppato il progetto "Karstadt Re-parked" a Berlino, con prevista conclusione nel 2025.

Questo progetto si distingue per il suo approccio al riutilizzo di materiali e componenti strutturali provenienti dalla demolizione dell'edificio storico Karstadt.

Il team ha iniziato analizzando l'inventario delle risorse, disponibile dopo le verifiche pre-demolizione, per poi esplorare diverse soluzioni innovative per il riutilizzo

di elementi e materiali esistenti [68].

Un esempio concreto di questo approccio è il recupero dei pilastri e delle travi in calcestruzzo dalla torre del parcheggio demolita. Questi elementi vengono attentamente tagliati e rimossi per essere successivamente riutilizzati nella facciata. Qui agiscono come elementi autoportanti, delineando una griglia regolare che caratterizza l'estetica dell'edificio [68].

### 5.4.8 Resource Rows



Figura 5.17: Resource Rows. Fonte immagini: [69]

Sempre firmato dallo studio danese Lendager troviamo il progetto "Resource Rows", sito a Copenaghen.

Il progetto si presenta come un innovativo complesso residenziale composto da 92 appartamenti, realizzati interamente con materiali di recupero, mantenendo costi inalterati. Il cuore del progetto è un cortile aperto attorno al quale si sviluppano due file di case a schiera di tre piani, intervallate da due blocchi di appartamenti di cinque piani. Il complesso condivide un cortile e un tetto comuni, che includono anche 29 "rooftop apartments". Il complesso residenziale è caratterizzato inoltre dalle numerose aree verdi, tra cui serre e orti urbani comunitari [69] [70].

La vera novità del progetto tuttavia risiede nell'utilizzo (o per meglio dire, riutilizzo)

di mattoni di recupero per la costruzione delle pareti esterne.

Dato che spesso è difficile, se non quasi impossibile, separare i singoli mattoni dalla malta che li lega senza danneggiarli, è stata adottata un'innovativa soluzione: sono stati tagliati moduli di 1 metro quadro di mattoni da vari cantieri di demolizione, tra cui quello delle birrerie di Carlsberg a Copenaghen e vecchie scuole ed edifici industriali in Danimarca [55]. Questi moduli sono stati poi impilati l'uno sull'altro per formare le nuove pareti. Altri materiali riutilizzati includono per esempio i pannelli di alluminio impiegati come rivestimento di facciata, una grande trave in calcestruzzo utilizzata come ponte fra due blocchi di appartamenti, finestre, pavimentazioni interne e legno di scarto (impiegato per la pavimentazione delle terrazze e come rivestimento verticale di alcuni elementi e dettagli delle finestre in facciata) trattato con una tecnica giapponese che utilizza il fuoco per renderlo più durevole nel tempo e più resistente agli agenti atmosferici [55].

Secondo un'analisi LCA condotta dalla piattaforma online Nrep, il progetto ha ottenuto significativi risparmi di CO<sub>2</sub>: il 5-8% per il cemento, il 38% per i muri in mattoni, il 44-88% per i prodotti in legno e l'87% per le finestre [55]. Inoltre, il sito del Mies Van Der Rhoë Award, che ha nominato il progetto nel 2022, ha attestato una riduzione totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 29% e la prevenzione della produzione di 463 tonnellate di rifiuti C&D [70].



### 5.4.9 Upcycle Studios

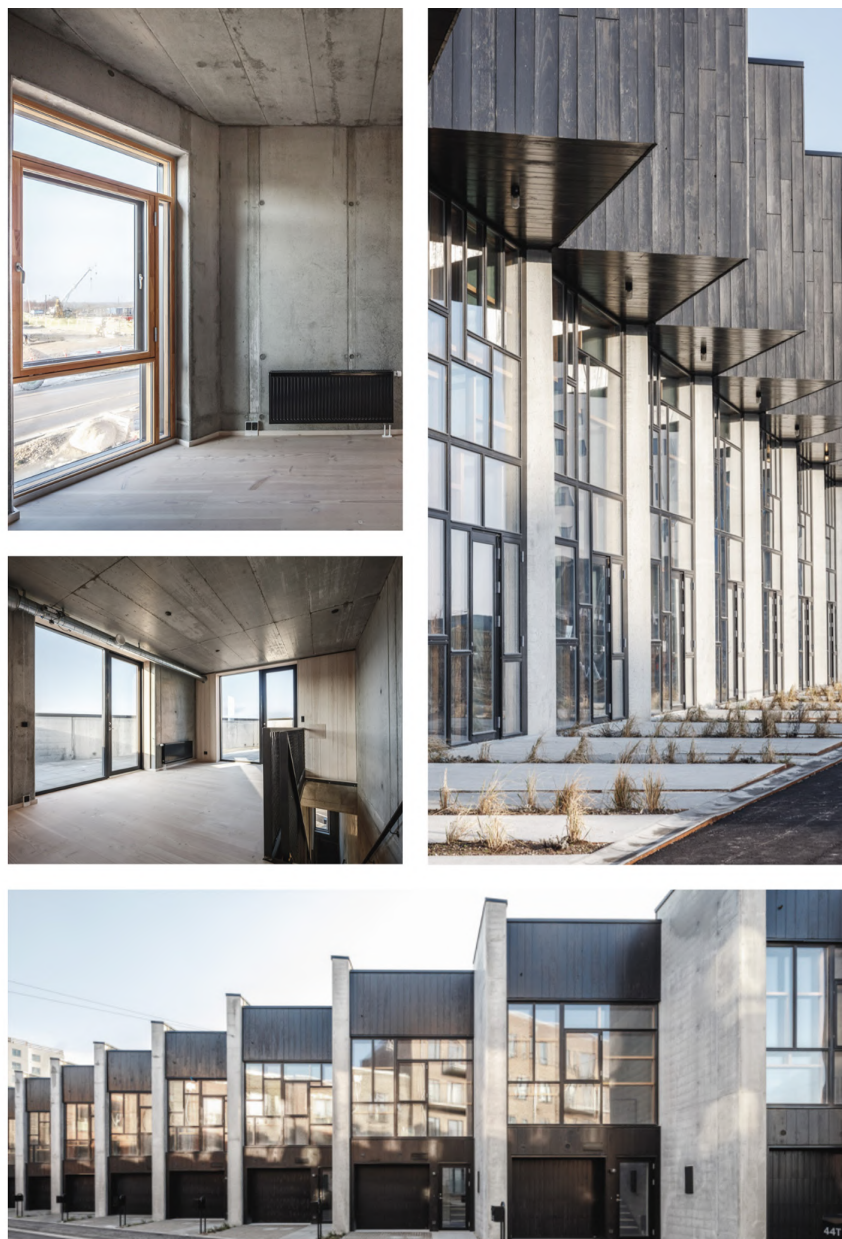


Figura 5.18: Upcycle Studios. Fonte immagini: [71]

Il progetto Upcycle Studios dello studio danese Lendager ha ottenuto il riconoscimento dei Danish Design Award nel 2019, dimostrando come sia possibile costruire 3000 metri quadri di case a schiera con un risparmio fino al 45% delle

emissioni di CO<sub>2</sub> e con un ampio impiego di materiali di riutilizzo, senza compromettere qualità, estetica o costo [71]. Il progetto consiste in 20 case a schiera nel quartiere di Ørestad di Copenaghen, progettate non solo in ottica di sostenibilità dei materiali e della costruzione, ma anche verso la flessibilità d'uso, tanto che ogni modulo può essere tradotto in residenza, ufficio o laboratorio [71]. Per quanto riguarda la sostenibilità in termini di materiali ed elementi da costruzione impiegati, innanzitutto vediamo come il cemento impiegato derivi dagli scarti della costruzione della metropolitana di Copenaghen mentre il legno utilizzato per i pavimenti e per le pareti interne ed esterne provenga dagli scarti del produttore danese di pavimenti in legno Dinesen. Inoltre, il 75% delle finestre delle facciate vetrate è stato recuperato da edifici abbandonati nel nord della Danimarca.

Come per il precedente progetto, anche per il seguente è presente l'analisi LCA della piattaforma Nrep, secondo la quale si ha avuto una riduzione di carbon footprint di circa il 32%, mentre secondo gli stessi architetti sono state risparmiate circa 1000 tonnellate di rifiuti C&D [72].

### 5.4.10 The Swan



Figura 5.19: The Swan. Fonte immagini: [73]

Il progetto "The Swan" dello studio Lendager consiste in un asilo situato nel comune di Gladsaxe, costruito principalmente con materiali provenienti dalla demolizione di una vecchia scuola presente nello stesso sito, rimasta abbandonata per



dieci anni.

L'impiego di materiali di riuso o riciclati ha permesso di risparmiare 6200 tonnellate di materiale e 178 tonnellate di CO<sub>2</sub>, rendendo di fatto "The Swan" il primo asilo al mondo ad ottenere la certificazione Nordic Swan Ecolabel, dal quale prende il nome [73].

La struttura preesistente era composta da un edificio in mattoni risalente agli anni '30 e uno in calcestruzzo degli anni '60, ed ha permesso di reperire circa 12000 tegole, 61500 mattoni e 2600 pezzi di lamiera, i quali sono stati impiegati per rivestire sia le coperture che le pareti esterne, nonché per dare un'identità al progetto [73]. All'interno dell'edificio centrale, il quale costituisce l'ingresso per i bambini, è stato creato il pavimento utilizzando i mattoni provenienti dalla vecchia scuola, insieme ad altri elementi come un grande orologio precedentemente posizionato nel cortile della struttura originale. Questo ha permesso di donare al progetto una nuova identità che sia però legata alla tradizione e al passato [73].

Lo studio Lendager ha sviluppato specifiche linee guida per il processo di demolizione selettiva e riutilizzo dei materiali di questo progetto, concentrandosi sulla collaborazione con aziende che potevano operare direttamente sul sito di costruzione per evitare i costi e le emissioni di CO<sub>2</sub> legati al trasporto dei materiali [73].

## Capitolo 6

# Valutare il Potenziale di Riuso dei Rifiuti da Costruzione e Demolizione e i Possibili Impieghi

### 6.1 Come Valuto il Potenziale di Riuso?

Una volta compreso che la strategia del riuso è quella preferibile da intraprendere al fine vita di un edificio e dei suoi diversi strati, è necessario delineare come valutare e quindi come determinare se e come un rifiuto (sia esso un materiale, un componente, ecc.) sia riutilizzabile o, in alternativa, re-impiegabile. È quindi cruciale comprendere il cosiddetto potenziale di riuso.

Secondo l'associazione BAMB (Buildings as Material Banks), questo è definito come la misura della probabilità che un elemento possa essere smontato in modo semplice e veloce, senza subire danni, e quindi la probabilità che possa essere riutilizzato [74].

Questo potenziale di riuso di ogni insieme di componenti dell'edificio è importante che venga stimato prima della demolizione in modo da eseguire tutte le operazioni correttamente e senza compromettere i vari elementi. E' necessario quindi a monte della demolizione eseguire una verifica di quelli che saranno i rifiuti generati. Questa necessità, come già sottolineato nel capitolo 2, è riportata nelle linee guida

sulla gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione sia europee che svizzere.

A livello europeo, nei documenti della Commissione Europea, come "Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori di demolizione e ristrutturazione degli edifici" e "Protocollo per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione", analizzati nel capitolo 2.3 e 2.2, si riporta la necessità di eseguire una verifica dei rifiuti pre-demolizione per determinare quali rifiuti saranno riutilizzati, riciclati o smaltiti in discarica. Lo scopo è quello di migliorare la qualità e la quantità dei prodotti riciclati al fine poi di aumentare la fiducia degli individui nei confronti dei rifiuti stessi [6] [11].

Nei testi si parla principalmente di individuare e separare i rifiuti per il riciclo, con qualche accenno al riutilizzo magari presso il cantiere di demolizione. Tuttavia, la verifica pre-demolizione risulta applicabile e utile anche in ottica di riuso.

Per quanto riguarda il panorama svizzero, nel documento redatto dall'associazione Ecobau (che riunisce le varie autorità edilizie dei Cantoni svizzeri con l'obiettivo di sviluppare strumenti per la pianificazione sostenibile) intitolato "Guida all'analisi del potenziale dell'edilizia circolare" [59], viene spiegato cos'è e come effettuare la cosiddetta analisi del potenziale circolare di un edificio. Quest'analisi ha lo scopo di identificare prima delle operazioni di demolizione tutti i materiali e componenti da avviare al processo di riuso, mantenendo il riciclo sempre come seconda priorità [59].

Analizzando i processi di analisi del potenziale e di verifica pre-demolizione, si comprende come in realtà sono quasi coincidenti. Questo significa che una verifica pre-demolizione potrebbe essere condotta non solo per organizzare una migliore identificazione, separazione, trasporto e stoccaggio dei rifiuti [11] (in un'ottica lineare che porta allo smaltimento dell'elemento), ma anche per individuare sin da subito e isolare tutti quei componenti riutilizzabili (in un'ottica circolare che vede il rifiuto come risorsa).

Scendendo nel dettaglio, secondo la Commissione Europea, gli step per una corretta verifica dei rifiuti pre-demolizione sono i seguenti [6]:

- 1. Studio documentale e raccolta delle informazioni sull'edificio;**

2. **Verifica sul campo:** Identificare i vari materiali e componenti, acquisire misurazioni ed eventuali campioni da analizzare;
3. **Creazione di un inventario:** Raggruppare e classificare i rifiuti;
4. **Raccolta raccomandazioni per la gestione dei rifiuti:** Delineare consigli e/o linee guida sui possibili processi di riciclaggio, riutilizzo o smaltimento in discarica;
5. Stesura della relazione finale;

Per l'associazione svizzera Ecobau l'analisi dei potenziali di riutilizzo dei componenti edilizi va eseguita il più presto possibile, ovvero durante le fasi SIA della pianificazione strategica e dello studio preliminare, ovvero le fasi 1 e 2 [59].

Nel dettaglio, una corretta analisi per valutare il potenziale di riutilizzo dei rifiuti provenienti dalla demolizione di un edificio prevede i seguenti passaggi [59]:

1. **Avvio del progetto e definizione dell'obiettivo.** Questo passaggio è a carico del committente, il quale deve chiarire l'entità dello smantellamento, definire l'obiettivo dell'analisi del potenziale (ossia quanto e se massimizzare il riutilizzo), stabilire il budget e coinvolgere lo/a specialista;
2. **Raccolta documentale e studio del progetto.** A partire da questa fase, lo/a specialista esamina e studia i documenti relativi al progetto, analizzando planimetrie, sezioni e altre informazioni disponibili in modo da prepararsi all'ispezione fisica;
3. **Ispezione fisica.** Si esegue un'accurata ispezione sul campo per raccogliere informazioni sui prodotti, materiali e componenti da valutare (dimensioni, quantità, condizioni, ecc.) e documentare tutto attraverso fotografie e rilievi dettagliati;
4. **Valutazione del potenziale di riutilizzo.** Durante questa fase si valutano tutti i potenziali di riutilizzo e le possibili destinazioni degli elementi analizzati. Per

questo scopo è possibile utilizzare lo strumento elaborato da Ecobau, che sarà presentato nel capitolo 6.3;

5. **Stesura del rapporto finale.** Si redige un rapporto finale dove saranno esposti i risultati dell'analisi;

Ma come si comprende quando è possibile destinare un elemento al riuso? Quali sono le caratteristiche o i fattori che rendono un componente riutilizzabile o che invece suggeriscono che l'unica gestione possibile sia il riciclo o lo smaltimento in discarica?

In linea teorica non esiste una metodologia unica e standardizzata, un modo univoco o dei criteri assoluti per comprenderlo. Esistono tuttavia diversi tool più o meno approfonditi (che saranno presentati nel capitolo 6.3) che permettono di raccogliere dati sui componenti per stimare il loro potenziale di riuso.

Questi dati riguardano:

- Dimensioni dell'elemento (importanti anche per organizzare i processi logistici [36])
- Quantità (espressa di solito in numero di pezzi o in metri quadrati disponibili)
- Localizzazione all'interno del progetto (importante in fase di smantellamento e per comprendere il facile accesso o meno)
- Condizione attuale (ovvero se il componente o il materiale può ancora svolgere la sua funzione, se è in qualche modo danneggiato e, in tal caso, quanto gravemente)
- Facilità di smontaggio

In questo contesto risulta interessante il paper scientifico pubblicato sul *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, intitolato "Reusability analytics tool for end-of-life assessment of building materials in a circular

economy," il quale ha come scopo lo sviluppo di uno strumento di analisi della riutilizzabilità dei rifiuti da costruzione e demolizione [75]. Questo studio ha elaborato una formula che lega il livello di riutilizzabilità di ogni componente dell'edificio a fattori quali:

- la vita utile dei materiali  $\alpha_m$
- L'età dell'edificio  $t$
- Il livello di riutilizzabilità dei materiali  $R_m$

$$R_c = \sum_{j=1}^n R_{m_i} \quad (6.1)$$

$$R_m = \beta - e^{t-\alpha_m} \quad (6.2)$$

Nello specifico nella formula ( 6.1) vediamo come  $R_c$ , ovvero il livello di riutilizzabilità di ogni componente, sia definito come la sommatoria dei livelli di riutilizzabilità di ogni materiale dell'edificio  $R_m$  [75]. Quest'ultimo si ricava attraverso la formula 6.2 e risulta essere inversamente proporzionale a  $t$ , ovvero l'età dell'edificio e  $\alpha_m$ , ovvero la vita utile dei materiali [75]. Questo ci fa capire, come già intuibile, che l'obsolescenza dei materiali e degli edifici costituisce uno dei maggiori fattori negativi quando si cerca di comprendere il potenziale di riutilizzo.

In linea generale, se si vuole valutare il potenziale di riutilizzo, si può fare riferimento a un set di criteri derivanti da un insieme di letterature di riferimento.

Sebbene tali criteri non siano assoluti e completamente determinanti, forniscono una panoramica concreta sul componente analizzato, consentendo di determinare se il riutilizzo è effettivamente una possibilità e di orientarsi tra le opzioni di riutilizzo e reimpiego [36].

I criteri più importanti da prendere in considerazione sono (fig. 6.1):

	<b>Condizione attuale</b>	<i>Il componente è in buone condizioni? Presenta segni di usura gravi o lievi? Presenta danni gravi?</i>
	<b>Quantità disponibile</b>	<i>Il componente è presente in quantità sufficienti per rispondere alla domanda del mercato o per legittimare il processo di decostruzione?</i>
	<b>Misure standard</b>	<i>Il componente presenta misure standard ? Presenta dimensioni omogenee?</i>
	<b>Valore architettonico riconosciuto</b>	<i>Il componente presenta un valore architettonico riconosciuto? Presenta delle caratteristiche uniche?</i>
	<b>Valore economico</b>	<i>Il componente presenta un valore economico? Il componente rispondere ad una domanda di mercato?</i>
	<b>Facilità di smantellamento</b>	<i>Il componente è facile da smantellare ? Presenta connessioni a secco? E' facilmente accessibile?</i>
	<b>Facilità di trasporto e stoccaggio</b>	<i>Il componente è facile da trasportare e stoccare (In termini di peso, volume, fragilità)? Sono presenti le condizioni necessarie per il suo smantellamento?</i>
	<b>Impatto ambientale</b>	<i>Il riuso del componente porterà ad una significativa riduzione dell'impatto ambientale ?</i>
	<b>Sicurezza</b>	<i>Il componente presenta sostanze inquinanti o pericolose per l'ambiente? Presenta sostanze nocive per l'uomo o costituisce in alcun modo un pericolo?</i>

Figura 6.1: Criteri influenti sulla valutazione del potenziale di riuso di un componente edilizio o di un materiale. Fonte: elaborazione personale sulla base del documento [36]

Ma quali sono effettivamente i materiali più richiesti? E perchè interessa comprenderlo?

La verità è che è essenziale avere un'idea generale su quale essi sia in quanto, come riportato nell'elenco dei criteri che influenzano la possibilità di riutilizzo (fig. 6.1), la domanda di mercato è un fattore determinante. Sarà chiaramente più facile riutilizzare un elemento per cui esiste un mercato con una domanda consistente, piuttosto che uno per cui la richiesta è scarsa o inesistente.

Secondo l'articolo redatto da Wrap, "Reclaimed Building Products Guide" [76], alcuni fra i materiali più richiesti sono:

- Mattoni
- Acciaio strutturale
- Elementi in metallo come placche o barre o elementi di rivestimento
- Tegole in argilla, ardesia o cemento
- Elementi strutturali in legno
- Pavimentazioni in pietra (come granito, arenaria o calcestruzzo)
- Pietre per rivestimenti murari
- Moquette
- Complementi d'arredo

Scendiamo nel dettaglio di alcuni di questi materiali per comprendere meglio la situazione attuale riguardo il loro riutilizzo.

Per quanto riguarda i mattoni, come già menzionato, è complesso procedere con il loro smantellamento a causa della malta che li lega, rendendo difficile separarli senza danneggiarli. Le operazioni di separazione potrebbero non comportare significativi risparmi di carbonio, motivo per cui è importante minimizzare i trasporti e le successive operazioni di lavorazione per bilanciare questa situazione [77]. Oggigiorno è tipico frantumare i mattoni derivanti da demolizioni e riutilizzarli come



aggregati di bassa qualità, ad esempio come base per le strade [77].

È comunque importante sottolineare che il recupero dei mattoni è possibile ed è attualmente eseguito, anche se si tratta ancora di un processo lento e delicato. Ci sono però soluzioni alternative, come quella descritta nel capitolo 5.4.8, per la quale lo studio d'architettura Lendager ha deciso di isolare moduli di un metro quadrato composti da mattoni, per riutilizzarli nelle facciate del progetto Resource Rows [69].

	<b>Costo componente nuovo</b>	<b>Costo componente recuperato</b>
<b>Acciaio strutturale</b>	£800/ton (950€/ton)	£400/ton (475.4€/ton)
<b>Mattoni</b>	£0.2-£0.68/mattone (0.24e-0.81€/mattone)	£0.4/mattone (0.4€/mattone)
<b>Pannelli di rivestimento in metallo</b>	£3-£6/m2 (3.57€-7.13€/m2)	£1.5-£4/m2 (1.78€-4.75€/m2)
<b>Tegole in laterizio</b>	£0.62/tegola (0.74€/tegola)	£0.27-£0.6/tegola (0.32€-0.71€/tegola)
<b>Travi in legno</b>	£780/m3 (927€/m3)	£710-£890/m3 (843€-1057€/m3)
<b>Travetti in legno</b>	£2.79-£1.84/m (3.32€-2.19€/m)	£0.30-£2.6 (0.36€-3.09€/m)
<b>Parquet</b>	£29.95/m2 (35.6€/m2)	£20-30/m2 (23.77€-35.66€/m2)
<b>Moquette</b>	£0.50/piastrella (0.59€/piastrella)	£1.5/piastrella (1.78€/piastrella)

Tabella 6.1: Confronto dei costi tra i materiali di recupero più richiesti e i loro equivalenti nuovi. Fonte: rielaborazione personale sulla base del documento [76]

Il riuso dell'acciaio strutturale può apportare un grande contributo alla diminuzione dell'impatto ambientale, dovuto principalmente alla sua produzione, ma anche al processo di riciclo che prevede operazioni impattanti come la fusione del materiale.

Attualmente, l'acciaio riutilizzato corrisponde solamente al 5-10% [77], sebbene l'utilizzo di strutture in acciaio recuperate comporti un risparmio economico. Questo

accade poiché molte figure professionali preferiscono orientarsi sul non utilizzare acciaio recuperato poiché significherebbe un lavoro aggiuntivo per verificare le proprietà strutturali [77]. Lo smantellamento delle strutture in acciaio avviene disassemblando travi e colonne o tagliandole il più vicino possibile alla saldatura, per mantenere la loro lunghezza [77].

Per quanto riguarda il legno, sia per componenti strutturali (travi e travetti) sia per elementi non strutturali (pavimentazioni o elementi d'arredo), può spesso essere recuperato senza richiedere grandi processi di manutenzione e lavorazione successiva.

Inoltre, i costi dovuti alle operazioni di smantellamento sono bilanciati dal minor impatto ambientale. Si stima infatti che l'utilizzo di legno recuperato può portare ad una riduzione dell'impatto ambientale fino all'83% [77].

Material stream	Product	Cost	Availability	Available but rarely traded
<b>Bricks</b>	Bricks	£0 - £+	■■■	
<b>Metals</b>	Structural steel	£-	■■	
	Tubes, plates and bars	£-	■■	
	Metal cladding	£-	■■	
	Fencing	£-	■	■
<b>Reuse of buildings</b>	Steel portal frame buildings	£-	■■	
<b>Roofing</b>	Slates	£- - £+	■■	
	Hand made tiles	£0	■	
	Machine made tiles	£0	■■	
	Ridge tiles	£0	■	
	Concrete tiles	£-	■■■	■
<b>Timber</b>	Joists	£-	■■	■
	Beams	£+	■	
	Studwork	£- - £+	■■	■
	Timber floorboards	£0	■	
	Strip floor	£0	■■	
	Parquet floor	£0	■■	
	Timber street furniture	£- - £+	■■	
	Timber used in landscaping	£- - £+	■■	
	Doors	£-	■	■
	Period doors	£-	■■	
	Doors manufactured from reclaimed timber	-	■	
<b>Stone</b>	Granite setts	£+	■■	
	Sandstone setts	£0	■■	
	Yorkstone paving	£+	■■	
	Concrete paving	£-	■■	■
	Crazy paving	£-	■■■	
	Kerbs	£+	■■	
	Walling stone	£0	■■	
<b>Internal and fit out</b>	Carpet	£-	■■	■
	Furniture	£-	■■■	■
	Architectural salvage	£+	■■■	
	Mechanical & electrical items	£-	■■■	■

**Key:**

**Cost**  
 £- cost saving  
 £0 cost neutral  
 £+ cost premium

**Availability**  
 ■■■ widely available  
 ■■ some availability  
 ■ difficult to find

■ Widely available on demolition sites but rarely traded, these materials mostly go to landfill or recycling.

Figura 6.2: Nella tabella in figura, elaborata da Wrap [76], sono riportati i materiali e i componenti di riuso più richiesti nel settore edilizio, insieme ai dati relativi al costo (incluso rimozione, estrazione e manutenzione) e alla disponibilità. Ad esempio, i mattoni sono tra i prodotti più disponibili e, se riutilizzati correttamente, comportano una neutralità del costo ( simbolo £0) [76]. Le strutture in acciaio, sebbene meno disponibili rispetto ai mattoni, offrono un significativo risparmio economico quando riutilizzate. Al contrario, i complementi di arredo, pur essendo molto disponibili e potenzialmente economici da riutilizzare, vengono raramente recuperati e tendono a essere riciclati o smaltiti in discarica [76].

## 6.2 Le Possibili Destinazioni

Una volta compreso il potenziale di riutilizzo di un elemento o materiale, è importante riportare nell'analisi anche le possibili applicazioni, facilitando così l'orientamento dei progettisti o delle figure coinvolte nel riutilizzo [59].

Il documento [36], redatto per Interreg Europe (un programma che sostiene lo scambio di conoscenze ed esperienze nel panorama europeo), suggerisce alcune modalità di riutilizzo alcuni [36]:

1. Riutilizzo *on-site*: Consiste nel riutilizzare o reimpiegare il componente direttamente sul sito di demolizione (futuro sito di costruzione quindi). I vantaggi principali sono l'eliminazione dei costi e delle emissioni dovute al trasporto e l'incremento del riutilizzo di elementi che potrebbero non avere un mercato o una domanda specifica [36]. Tuttavia, questa opzione può presentare delle problematiche dovute per esempio alle eventuali incertezze riguardo la quantità di materiali disponibili, problema in realtà risolvibile con un'accurata verifica pre-demolizione [36]. Un'altra sfida potrebbe essere la gestione logistica dello stoccaggio temporaneo dei componenti [36].
2. Riutilizzo *site-to-site*: Prevede il riutilizzo dei rifiuti da demolizione in un altro cantiere di costruzione. In questo caso, è fondamentale considerare la distanza tra i siti per evitare che l'impatto ambientale del trasporto superi i benefici del riutilizzo [76]. Uno studio di Wrap, un'ONG impegnata nel contrasto al cambiamento climatico attraverso il riutilizzo e il riciclo, indica le distanze massime percorribili per alcuni materiali comuni. Nella tabella 6.1 si può notare come per i materiali di recupero come l'acciaio, che richiede molta energia per essere prodotto, le distanze possono arrivare fino a 4000 chilometri [76].
3. Vendita attraverso rivenditori online o fisici: consiste nell'affidare i componenti e materiali recuperati dalla demolizione a rivenditori terzi, i quali spesso si occupano delle operazioni di pulizia, selezione, stoccaggio e successiva vendita [36]. Un vantaggio di questo metodo è che i rifiuti da C&D diventano

<b>Materiale</b>	<b>Distanza massima (Km)</b>
Piastrelle di recupero	160
Ardesia di recupero	480
Mattoni di recupero	400
Legno di recupero	1600
Acciaio di recupero	4000

Tabella 6.2: Nella tabella sono riportate le distanze massime, riportate in chilometri, che un materiale di riuso può percorrere su strada prima che il suo trasporto generi un impatto maggiore di quello generato dalla creazione di un nuovo elemento. Fonte: rielaborazione personale eseguita sulla base della tabella pubblicata nel documento [76]

accessibili non solo alle grandi compagnie di costruzione, ma anche ai privati che desiderano utilizzare questi materiali per lavori nelle proprie abitazioni o per altri scopi. Tuttavia, uno svantaggio riguarda le quantità disponibili. Per avere uno stock di materiale sufficientemente ampio per grandi progetti, è necessario accumulare gli stessi materiali (es. mattoni) provenienti da diversi siti, il che richiede tempo [76]. In questa situazione l'acquirente potrebbe non trovare immediatamente le quantità necessarie. È tuttavia vero che non tutti vendono direttamente, ma permettono di richiedere in anticipo una certa quantità di materiale, che verrà successivamente accumulata e quindi acquistata. Nel capitolo successivo 6.3 verranno presentate alcune delle piattaforme online più comuni per la vendita o lo scambio di materiali e componenti edilizi di riuso.

4. Donazioni o scambi di materiale: Le compagnie demolitive o i proprietari di rifiuti da C&D possono decidere di donare i materiali, specialmente se presenti in piccole quantità o con un valore economico già basso [36]. Questi materiali possono essere donati a laboratori artigianali o a singole persone. Un esempio di piattaforma che facilita queste donazioni o scambi è Werflink, che media la condivisione di attrezzature edili e materiali di riuso tra imprese [78]

## **6.3 Modelli e Strumenti Esistenti per la Valutazione dei Componenti Edilizi**

Esistono alcuni strumenti sviluppati da vari enti per creare un inventario delle risorse, classificare i rifiuti, comprendere le possibili destinazioni e condurre un'analisi del potenziale di riutilizzo. Alcuni di questi si presentano sotto forma di tabelle, che guidano l'utente nel processo di valutazione, mentre altri sono tool più rapidi e pratici, permettendo di inserire una serie di dati per ottenere immediatamente una stima del potenziale di riutilizzo. Tuttavia, potrebbero non essere sempre adatti alla nostra indagine, poiché potrebbero omettere informazioni rilevanti per il nostro progetto o richiedere l'inserimento di dati che non sono disponibili. In questi casi, può essere utile disporre di tabelle orientative da replicare e modificare autonomamente in base alle proprie esigenze. Di seguito verranno presentati alcuni di questi modelli e strumenti:

1. Modelli per l'inventario dei materiali consigliati dal documento europeo per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione [6].

L'unione Europea mette a disposizione diverse tabelle d'esempio per identificare e condurre quindi l'inventario dei materiali derivanti da demolizione. Quella più interessante da prendere in considerazione perché più compatibile anche con uno scenario d'analisi di potenziale circolare è il modello consigliato per gli elementi costruttivi [6] mostrato in figura 6.3, dove vediamo campi da compilare, quali :

- Tipologia d'elemento
- Unità
- Ubicazione
- Riutilizzabilità
- Mercati possibili
- Quantità

- Identificazione dei materiali e codici dei rifiuti
- Precauzioni da attuare in fase demolitiva
- Fotografia e ulteriori annotazioni

Un altro modello derivante dalla stessa fonte è quello consigliato per le raccomandazioni relative alla gestione dei rifiuti, mostrato in figura 6.4, il quale si distingue dal precedente in quanto si concentra meno sulla descrizione o sulle caratteristiche proprie dell'elemento ma si concentra di più sulle possibili destinazioni e su quelle consigliate. Nello specifico le informazioni da inserire in tabella riguardano [36]:

- Tipo di materiale
  - Codice CER
  - Ubicazione
  - Sbocchi possibili (riuso, riciclo, utilizzo come materiale di riempimento, recupero d'energia o eliminazione in discarica)
  - Sbocco consigliato
  - Precauzioni da attuare in fase demolitiva
  - Precauzioni da attuare durante la manipolazione
  - Condizioni per le fasi di trasporto, stoccaggio e trattamento
2. Lo strumento "Analisi del potenziale dell'edificio circolare con elenco dei componenti" è un modello di valutazione fornito dall'associazione svizzera Ecobau, disponibile sulla loro piattaforma online come riferimento per il requisito 220-04 dello standard Minergie-Eco, descritto nel capitolo 5.3. In breve, secondo questo requisito bisogna svolgere un'analisi del potenziale circolare dei materiali e degli elementi costruttivi di un edificio se il volume di demolizione è superiore a 100 m<sup>3</sup> [59]. Lo strumento messo a disposizione gratuitamente

agli utenti presenta un primo foglio dove inserire i dati del progetto, gli obiettivi dell'analisi e le figure coinvolte ed un secondo foglio chiamato "Bauteilliste" (Elenco dei componenti della costruzione) dove si vanno a inserire i dati principali dei vari componenti, materiali ed elementi. Questi dati riguardano:

- Gruppo di appartenenza del componente (Componenti dell'Involucro dell'edificio, componenti interni, componenti esterni, struttura portante o gli elementi degli impianti per es sanitari)
- Identificazione del componente o materiale stesso (es se si tratta di una finestra piuttosto che di mattoni)
- Descrizione
- produttore
- Dimensioni (In volume, superficie o peso)
- Quantità
- Ubicazione all'interno dell'edificio (indicare il piano di appartenenza e anche una descrizione scritta)
- Condizione (Se presenta segni d'usura, se è in grado di rispettare la sua funzione e se presenta inquinanti)
- Informazioni sulla tipologia di connessioni presenti
- Valutazione sulla complessità dello smantellamento
- Raccomandazioni sulla destinazione (scegliere fra Riutilizzo in loco, riutilizzo nello stesso progetto, riutilizzo in un altro progetto, destinazione su piattaforma online, riciclo o smaltimento in discarica)

A seconda dei dati che si inseriscono (alcuni devono essere scritti altri invece scegli da un menu a tendina) la colonna affianco al componente inserito assumerà diverse gradazioni di verde o rosso a seconda della valutazione del potenziale di riutilizzo, così che a fine riempimento tabella si avrà una visione complessiva intuitiva sulla totalità del potenziale di circolarità dell'edificio in



analisi.

Successivamente sono fornite anche delle schede da poter dedicare, se necessario, ad ogni componente in analisi.

Una volta utilizzato lo strumento e successivamente all'aver preso visione dei risultati, al progettista sarà sicuramente più facile comprendere il potenziale di riutilizzo dell'edificio e dei suoi componenti, potendo quindi anche programmare una decostruzione il più ottimizzata possibile.

3. Il *Wrap Designing out Waste Tool for Buildings* è stato uno strumento di grande interesse, anche se non è più disponibile dal 2021, come dichiarato dalla stessa ONG Wrap che lo aveva precedentemente rilasciato. Nonostante ciò, è utile menzionarlo brevemente, poiché si trattava di un tool online che permetteva di generare previsioni sui rifiuti da costruzione e demolizione. In particolare, il tool consentiva di stimare a monte la quantità di rifiuti che potevano essere destinati al riutilizzo, inserendo una serie di dati relativi alla struttura portante, alle scale, alle finiture verticali e orizzontali, e agli impianti. Al termine del processo, era possibile scaricare un report contenente diverse informazioni, tra cui la previsione della quantità di rifiuti potenzialmente riutilizzabili. Anche se lo strumento non è più accessibile, alcuni video tutorial rilasciati da Wrap rimangono disponibili e possono fornire indicazioni utili su come funzionava il tool.
4. Il *Site Waste Management Plan*, elaborato dall'organizzazione Zero Waste Scotland, è uno strumento che, sebbene non sia specificamente orientato alla valutazione del potenziale di riutilizzo, merita attenzione per la sua utilità nella gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Questo strumento è progettato per aiutare a creare un piano di gestione dei rifiuti, permettendo di fare previsioni sui quantitativi di rifiuti che saranno prodotti e di confrontarli successivamente con i dati effettivi risultanti dopo la demolizione. Una caratteristica particolarmente interessante di questo tool è la possibilità di stimare

la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione destinata al riuso off-site, quella che sarà riciclata e quella che verrà smaltita in discarica [79].

<b>EDIFICIO:</b>								
Livello:								
Altre informazioni rilevanti:								
<b>Unità di costruzione:</b>								
Elemento	Unità	Ubicazione	Riutilizzabile	Mercati possibili	Quantità	Identificazione dei materiali e codici dei rifiuti	Precauzioni da prendere per la fase di demolizione	Fotografie e annotazioni

Figura 6.3: Modello consigliato per l'inventario di elementi costruttivi. Fonte: [6]

<b>EDIFICIO:</b>							
Livello:							
Altre informazioni rilevanti:							
<b>Unità di costruzione:</b>							
Tipo di materiale	Codice del rifiuto (CER ed EURAL)	Ubicazione	Sbocchi possibili <sup>1</sup>	Sbocco consigliato <sup>2</sup>	Precauzioni da prendere per la fase di demolizione <sup>3</sup>	Precauzioni per la manipolazione	Condizioni legali per stoccaggio/trasporto/trattamento

Figura 6.4: Modello consigliato per le raccomandazioni sulle gestioni dei rifiuti. Fonte: [6]

## 6.4 Piattaforme Online per la Condivisione e la Vendita dei Componenti Edilizi di Recupero

Come già affermato, uno dei maggiori ostacoli nel riuso è la mancanza di informazione e consapevolezza.

Progettisti, committenti o persone semplicemente interessate, anche se desiderose di impiegare materiali di riuso nei loro progetti, spesso non sanno come muoversi o dove cercare. Questo porta spesso a rinunciare a una scelta più sostenibile, ovvero quella di elementi di recupero, in favore di materiali nuovi.

In questo contesto alcune piattaforme online, che si occupano dello stoccaggio e della vendita di componenti di recupero, giocano un ruolo fondamentale, facilitando lo scambio e promuovendo indirettamente la pratica del riuso.

Inoltre molte di queste piattaforme permettono anche agli utenti di caricare i propri materiali, agevolando non solo progettisti e aziende alla ricerca di grandi stock (poiché queste piattaforme raccolgono materiali da varie fonti accumulando grandi quantità), ma anche singoli individui che possono attingere a elementi di recupero per lavori domestici o progetti personali.

In questo modo, si contribuisce a ridurre i rifiuti, l'impatto ambientale e il consumo di risorse non rinnovabili.

Un esempio interessante di realtà che aiuta la transizione verso il riuso è NewHorizon Urban Mining in Olanda.

Questa società si occupa dello smantellamento degli edifici, raccogliendo materiali e componenti da riutilizzare e distribuire a clienti o rivenditori [80]. NewHorizon agisce quindi come connettore tra le varie figure coinvolte nel processo di riuso, facilitandolo e incentivandolo.

Alcune delle piattaforme online più diffuse in Svizzera ed Europa che raccolgono materiali e componenti di recupero, per poi rivenderli, sono:

- Oogstkaart (Olanda) [81]
- Useagain (Svizzera) [82]

- Bauteilladen (Svizzera) [83]
- Rotor (Belgio) [84]
- Opalis (Francia, Belgio, Olanda) [85]
- Restado (Germania) [86]

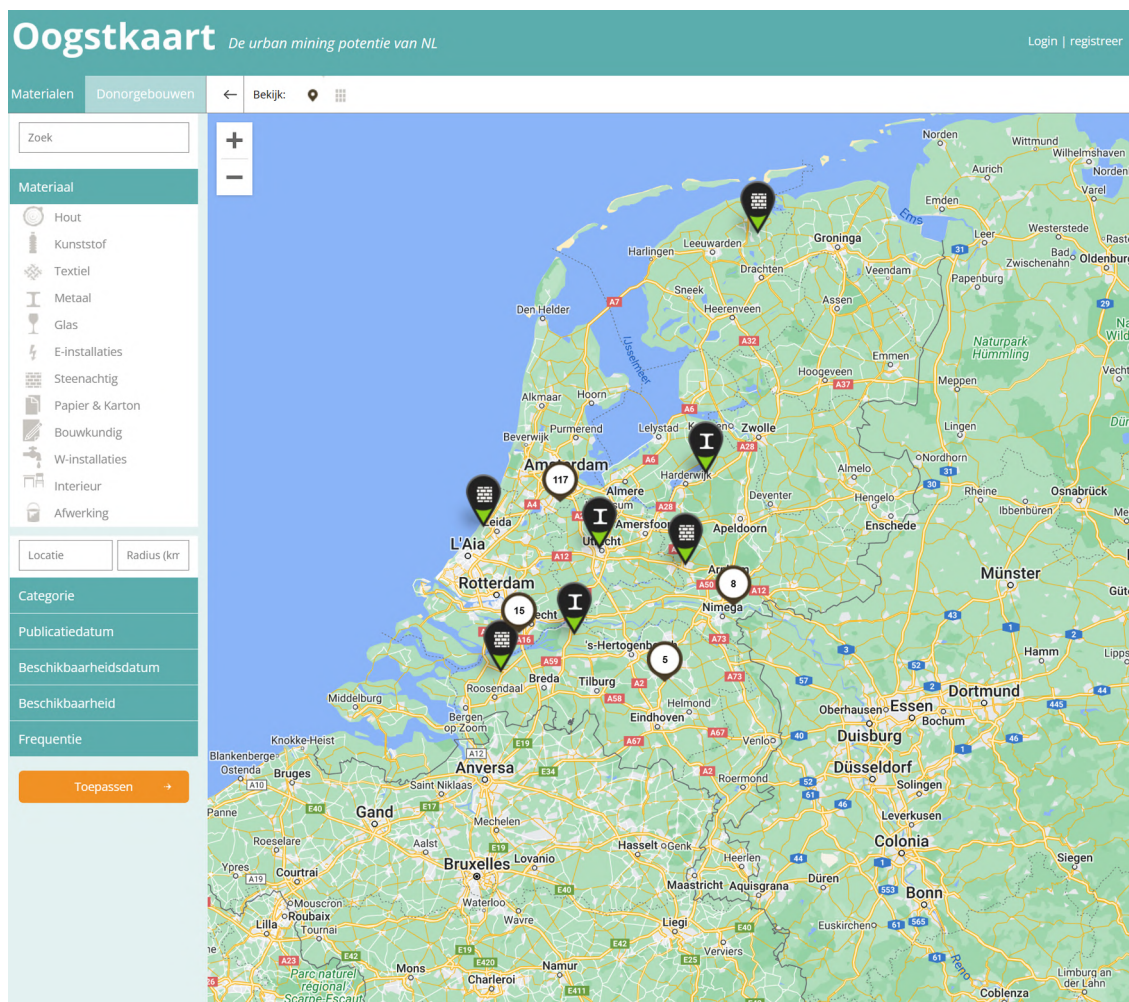


Figura 6.5: La piattaforma online Oogstkaart (*Harvestmap*). Fonte: [81]

*Oogstkaart*, parola olandese per "*Harvestmap*" (mappa del raccolto), è una piattaforma olandese sviluppata circa 10 anni fa da Superuse Studios [81]. Il suo obiettivo è quello di raccogliere in un unico database (visualizzato appunto sotto forma di mappa interattiva) tutti i materiali da riutilizzare.

Questa realtà collabora attivamente con NewHorizon, creando un ponte tra domanda e offerta. Sulla mappa è possibile infatti visualizzare i materiali disponibili e la loro posizione geografica. Quando arriva una richiesta (o un'offerta), la piattaforma mette in contatto il cliente con il fornitore [81], rendendo possibile lo scambio.

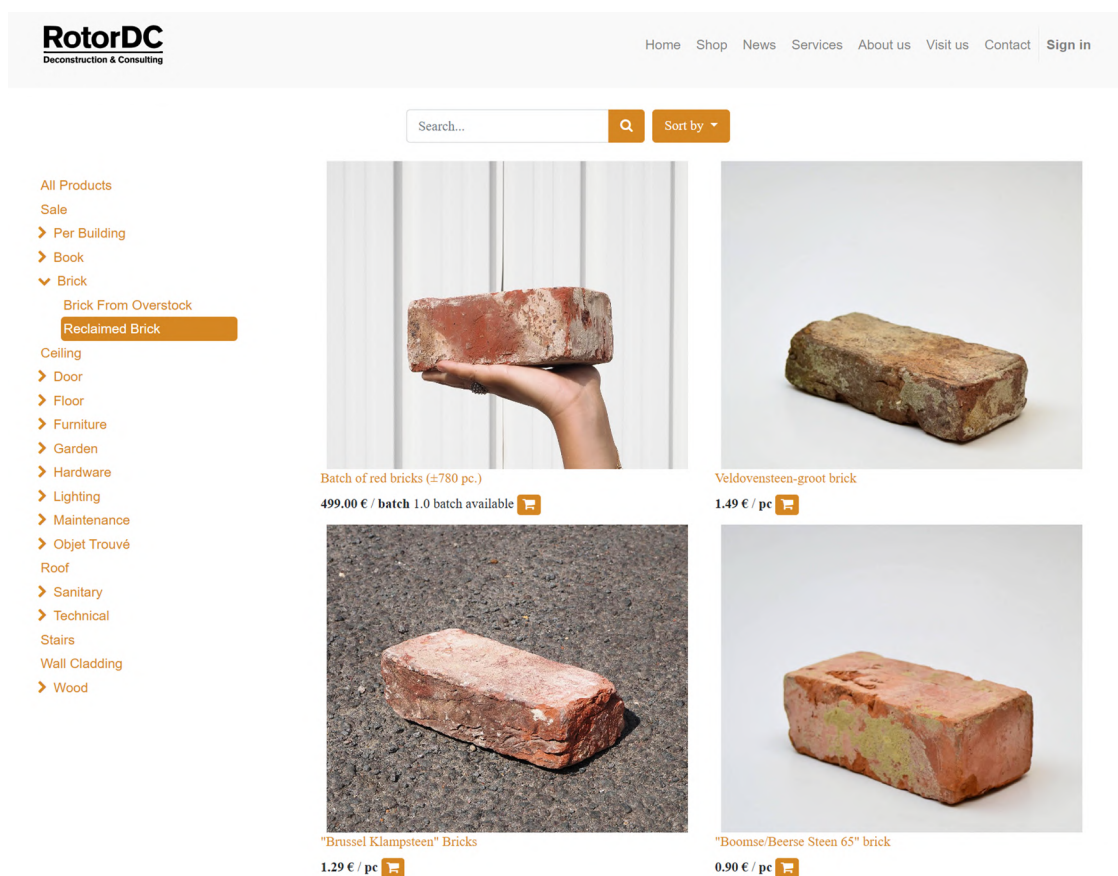


Figura 6.6: La piattaforma online Rotor. Fonte immagine: [84]

Le altre piattaforme fungono da veri e propri negozi di componenti edilizi di recupero. Navigando sui loro siti web si ha l'impressione di trovarsi su normali siti

di aziende che forniscono materiali o mobili, ma in realtà si tratta di elementi che erano precedentemente considerati rifiuti da costruzione e demolizione.

Alcune di queste, come Useagain, permettono non solo di acquistare, ma anche di caricare il proprio materiale.

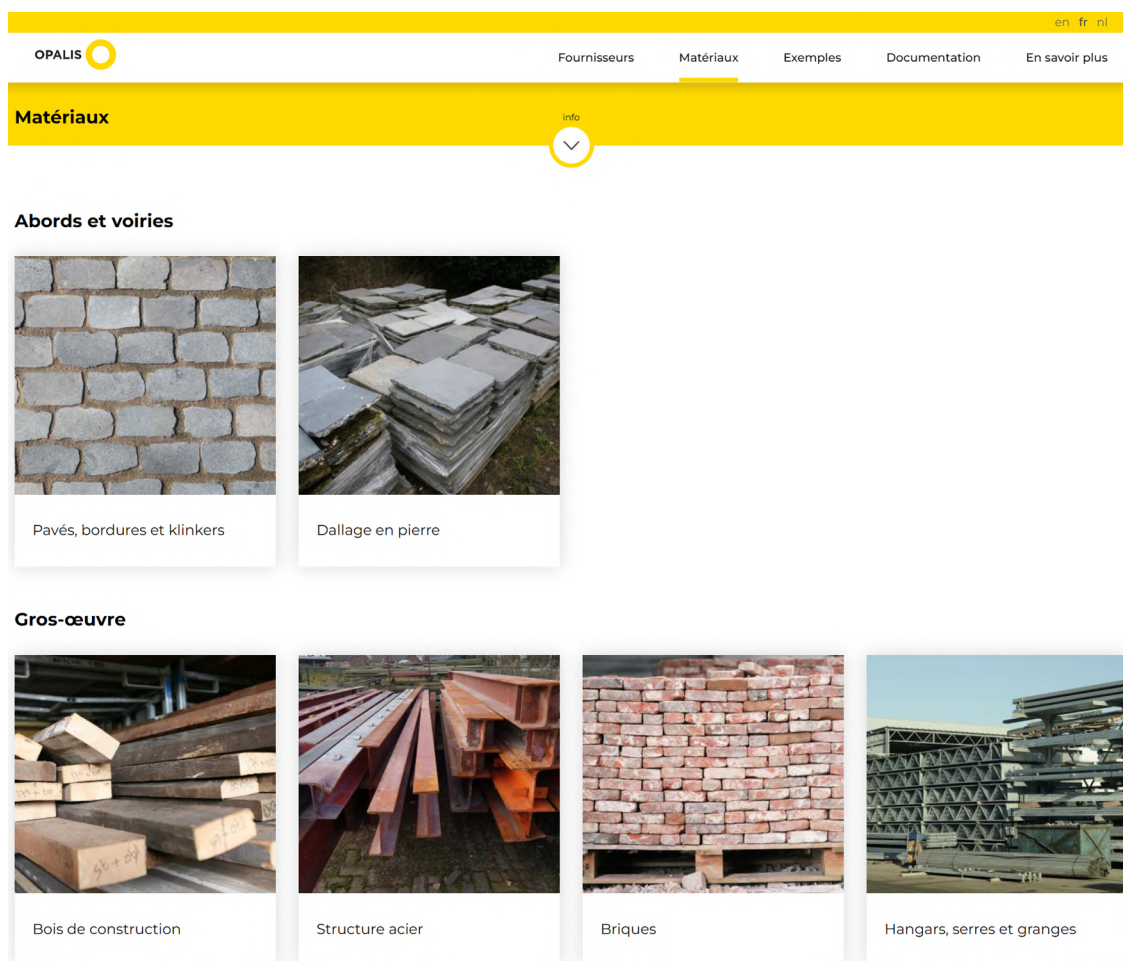


Figura 6.7: La piattaforma online Opalis. Fonte: [85]

## Parte III

### Il Caso Studio

# Capitolo 7

## Analisi del Potenziale di Riutilizzo di Un Edificio in via di Demolizione nel Canton Zurigo

### 7.1 Introduzione al Caso Studio: L'area Schindler e il Nuovo Progetto

L'edificio oggetto di analisi si trova nella cittadina svizzera di Schlieren. Quest'ultima fa parte del Canton Zurigo, trovandosi a ovest del capoluogo cantonale, e all'interno della regione del Limmattal, la quale prende il nome dal fiume che la attraversa.

Negli ultimi 30 anni, la popolazione residente nel paese è aumentata di circa il 50% [87], un fenomeno che ha spesso portato alla costruzione di nuovi edifici residenziali, portando quindi a grandi opere di demolizioni. E' proprio questo aumento demografico ed il bisogno di nuovi spazi abitativi che ha portato alla decisione di demolire gli edifici nella cosiddetta Area Schindler, situata a est del centro cittadino, a circa 500 metri dalla stazione ferroviaria principale, delimitata da Zürcherstrasse a nord e Schulstrasse a sud.





Figura 7.1: Planimetria fuori scala dell'area urbana.

In rosso sono evidenziati gli edifici per i quali è prevista la demolizione, mentre con una gradazione più scura è messo in evidenza l'edificio oggetto del caso studio. Fonte immagine: elaborazione personale basata sul catasto del Canton Zurigo [88].

Attualmente, nel sito di proprietà del fondo pensionistico Schindler, da cui prende il nome, si trovano undici edifici residenziali di due o quattro piani e due torri di dodici piani, costruiti tutti intorno agli anni '50 e '60, [87], per un totale di 142 appartamenti [90]. Di queste costruzioni, solo tre piccoli edifici residenziali ai margini del lotto verranno esclusi dalla demolizione.

Il nuovo progetto, realizzato dallo studio d'architettura Adrian Streich Architekten, prevede la costruzione di due nuove torri con un volume simile a quello delle vecchie, tre grandi edifici a pettine di quattro e cinque piani, ed infine un edificio più isolato nell'angolo nord-ovest [87]. Il progetto raggiungerà un totale di 232 appartamenti [90], insieme ad aree commerciali e un asilo comunale.



Figura 7.2: Fotografia del modello in gesso rappresentante il nuovo progetto per l'area Schindler. Punto di vista dal lato nord. Fonte: [89]

Nello specifico, l'oggetto del caso studio è un appartamento all'interno dell'edificio situato in Schulstrasse 27, visibile in fig. 7.3, la costruzione nell'angolo sud-ovest dell'area Schindler.



Figura 7.3: L'edificio sito in Schulstrasse 27, oggetto del caso studio.

## 7.2 Valutazione del Potenziale di Riutilizzo



Figura 7.4: La demolizione dell'edificio oggetto del caso studio.

Questa tesi si concentrerà su un solo edificio dell'intera area Schindler, come già specificato precedentemente. In particolare, è stato possibile accedere a uno dei due appartamenti situati al secondo piano.

Essendo l'immobile situato in territorio svizzero, questa tesi prenderà come riferimento le operazioni e le attività proprie dell'approccio suggerito dall'associazione svizzera Ecobau.

Gli step da seguire per una corretta analisi del potenziale circolare dei componenti edilizi sono descritti dettagliatamente nel capitolo 6.1.

In ultimo, verrà utilizzato il modello di valutazione sviluppato da Ecobau, presentato nel capitolo 6.3.

### **7.2.1 Definizione dell'Obiettivo**

Essendo questa fase a carico del committente, si presume che il fondo pensionistico Schindler abbia l'intento di ottimizzare al massimo il riutilizzo dei componenti derivanti dalla demolizione dell'edificio. Oltre a favorire la circolarità, l'analisi del potenziale di riutilizzo si rivela utile anche per soddisfare i requisiti di Minergie-eco, in vista del nuovo progetto.

Secondo tali criteri, infatti, per volumi di demolizione superiori a 100 m<sup>3</sup>, è necessario verificare e calcolare il potenziale di riutilizzo [58]. Al termine della valutazione, sarà possibile quantificare il volume dei rifiuti recuperabili e comprendere le loro destinazioni, garantendo così una chiara visione della possibile circolarità dell'edificio e dei suoi componenti.

### **7.2.2 Raccolta Documentale e Studio del Progetto**

Il primo passo, dopo aver definito l'obiettivo, consiste nell'eseguire uno studio approfondito del progetto. Questo studio deve tenere conto non solo delle dimensioni dell'edificio, ma anche delle tecniche costruttive utilizzate, dell'anno di costruzione e di eventuali fattori come la presenza di sostanze inquinanti nel terreno. In sostanza, è cruciale ottenere una visione completa e dettagliata dell'edificio oggetto dell'analisi. A tal fine, è necessario consultare attentamente i documenti forniti dal Cantone o dal Comune.

Secondo il piano di zonizzazione della città di Schlieren del 2002, l'edificio si trova nella zona W4 [91], definita come area residenziale e per usi non disturbanti o moderatamente disturbanti [87].

In questa zona, ci sono diverse caratteristiche che un edificio standard deve rispettare, tra cui:

- Sito sfruttabile al massimo all'80%;
- Costruzioni con un massimo di quattro piani completi (senza contare i seminterrati);

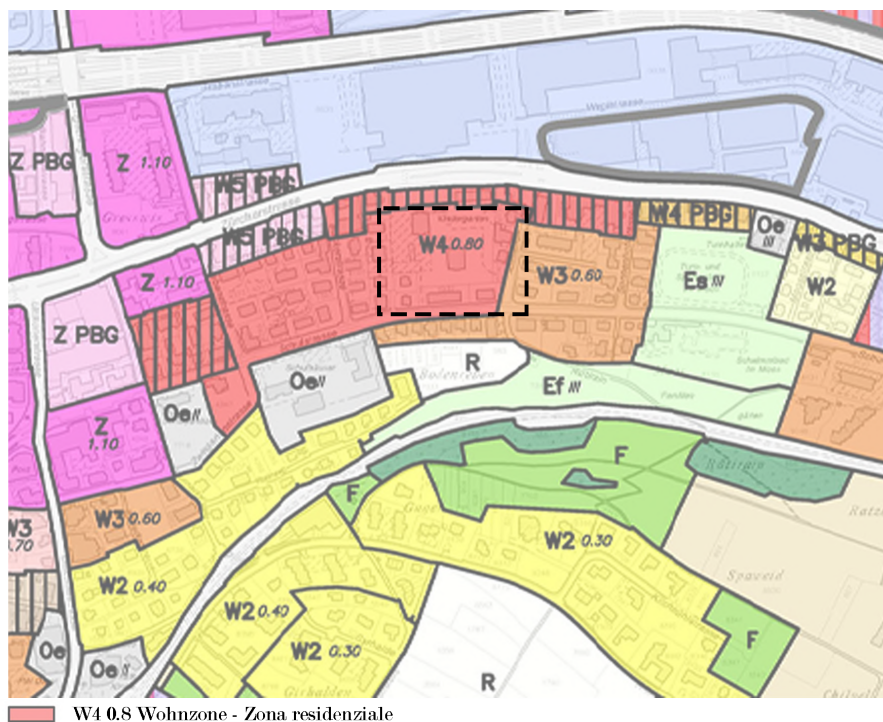


Figura 7.5: Estratto del piano di zonizzazione del 2002 della città di Schlieren fuori scala. Come si può notare è incluso nell'area residenziale W4. Fonte: [91]

- Un solo piano mansardato consentito;
- Costruzioni aventi lunghezza massima di 60 m;
- Costruzioni aventi altezza massima di 13 m;
- Una percentuale minima delle superfici costruite, ovvero il 60%, deve essere destinata all'uso residenziale;

Analizzando invece il piano degli insediamenti e del paesaggio della regione del Limmattal, si osserva come il sito del progetto è situato all'interno della zona destinata ad alta intensità costruttiva [92], come visibile in figura 7.6.

Proseguendo con l'analisi, la consultazione del geo-portale del Canton Zurigo [88] permette di determinare l'età dell'edificio.





Figura 7.6: Estratto della carta degli insediamenti e del paesaggio della regione Limmattal. Fuori scala. Fonte: [92]

Analizzando la carta del patrimonio edilizio del cantone, visibile in fig. 7.7, risulta come l'immobile rientri tra le costruzioni sorte tra il 1926 e il 1950. Consultando più nel dettaglio il tool di geo-dati fornito dal cantone, si scopre che l'edificio è stato costruito esattamente nel 1949 [93].

Questo dato risulta essere estremamente importante perché prima ancora di procedere con un'ispezione fisica permette di avere un'idea della tecnologia costruttiva dell'edificio.

Come già spiegato nel capitolo 3.1, in Svizzera gli edifici sorti fra il 1950 e il 1960 erano prevalentemente realizzati in muratura o in calcestruzzo, similmente alla scena internazionale degli stessi anni. In generale, le abitazioni costruite in quegli anni erano caratterizzate da metodi costruttivi piuttosto semplici, che presentavano i seguenti elementi [94]:

- Pareti esterne di spessore ridotto (tra 25 e 30 cm) in muratura;
- Copertura a falde inclinate con capriate in legno e rivestimento fatto di tegole;

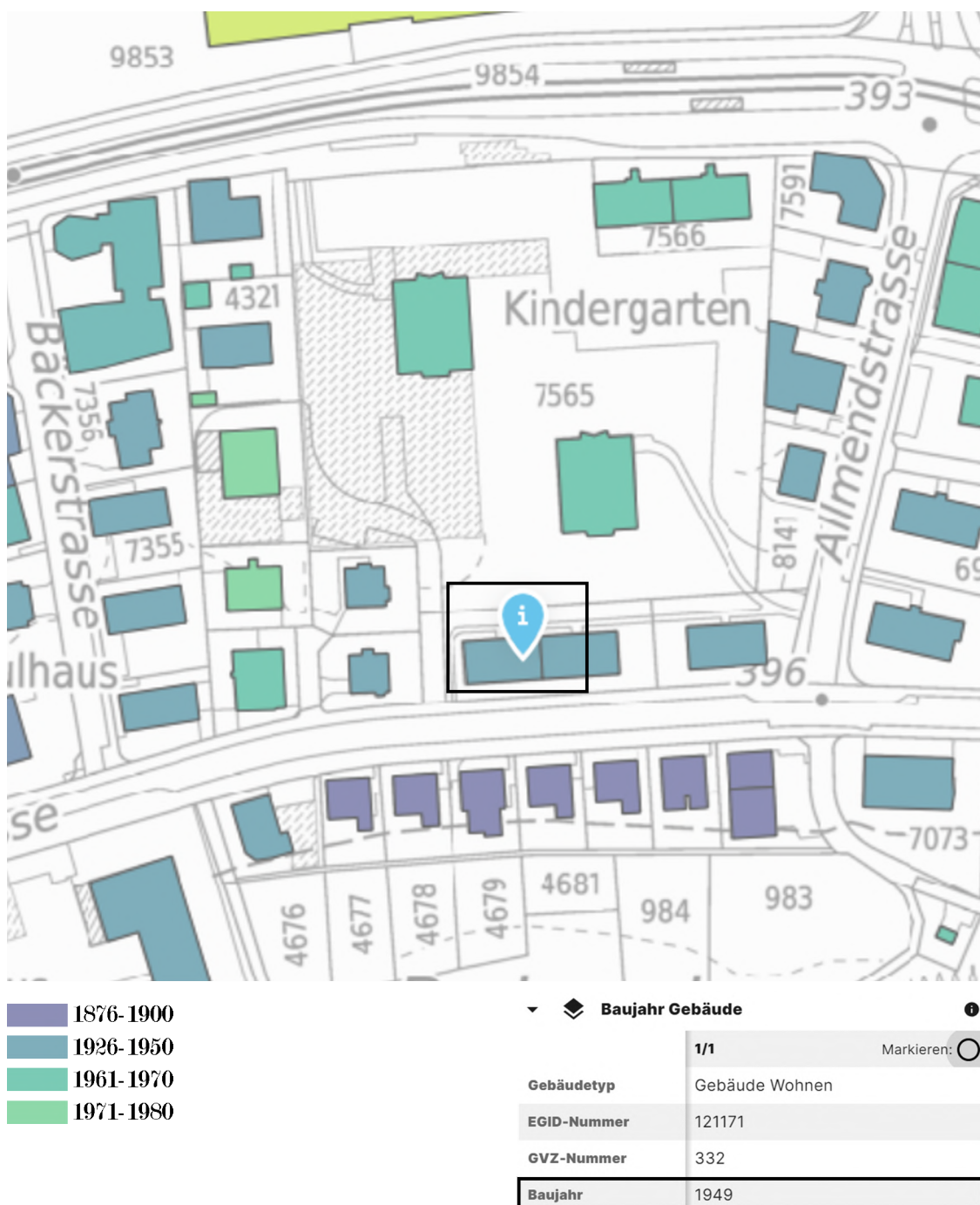


Figura 7.7: Estratto della carta del patrimonio edilizio del Canton Zurigo suddiviso per anno di costruzione. L'edificio oggetto di analisi risale al periodo di costruzione 1926-1950, più precisamente all'anno 1949. Fonte: [88]

- Solai in calcestruzzo armato o latero-cemento;
- Corpo scala in calcestruzzo armato;
- Assenza di isolamento termico o acustico sia nelle pareti che nei solai;

Queste caratteristiche sono riscontrabili anche nell'appartamento oggetto del caso studio.

Analizzando nel dettaglio la planimetria fornita dall'agenzia immobiliare, in fig. 7.8, si comprende come si tratti di un quadrilocale di circa 70 m<sup>2</sup> suddiviso secondo i seguenti ambienti:

- Cucina di circa 9 m<sup>2</sup> con pavimentazione in piastrelle (probabilmente in ceramica) di spessore 3 cm;
- Bagno di circa 5 m<sup>2</sup> con pavimentazione in piastrelle (probabilmente in ceramica) di spessore 3 cm;
- Corridoio di servizio di 6 m<sup>2</sup> con pavimento in piastrelle (probabilmente di dimensioni maggiori) di spessore 4 cm;
- Camera da letto principale di 15 m<sup>2</sup> e due stanze secondarie di 13 e 11 m<sup>2</sup> con pavimentazione in parquet di spessore 4 cm;
- Soggiorno di circa 17 m<sup>2</sup> con la stessa pavimentazione delle camere da letto;
- Balcone sul lato sud;

Per quanto riguarda la struttura dell'appartamento si notano le seguenti caratteristiche:

- Le pareti esterne hanno uno spessore di 32 cm, suggerendo l'uso di laterizi di tipo svizzero 30x12x25, senza strato isolante;
- Le pareti interne variano tra 8, 12 e 15 cm;
- Le porte interne hanno tutte una larghezza di 85 cm e un'altezza di 1.97 m, eccetto la porta del bagno che misura 75 cm di larghezza;



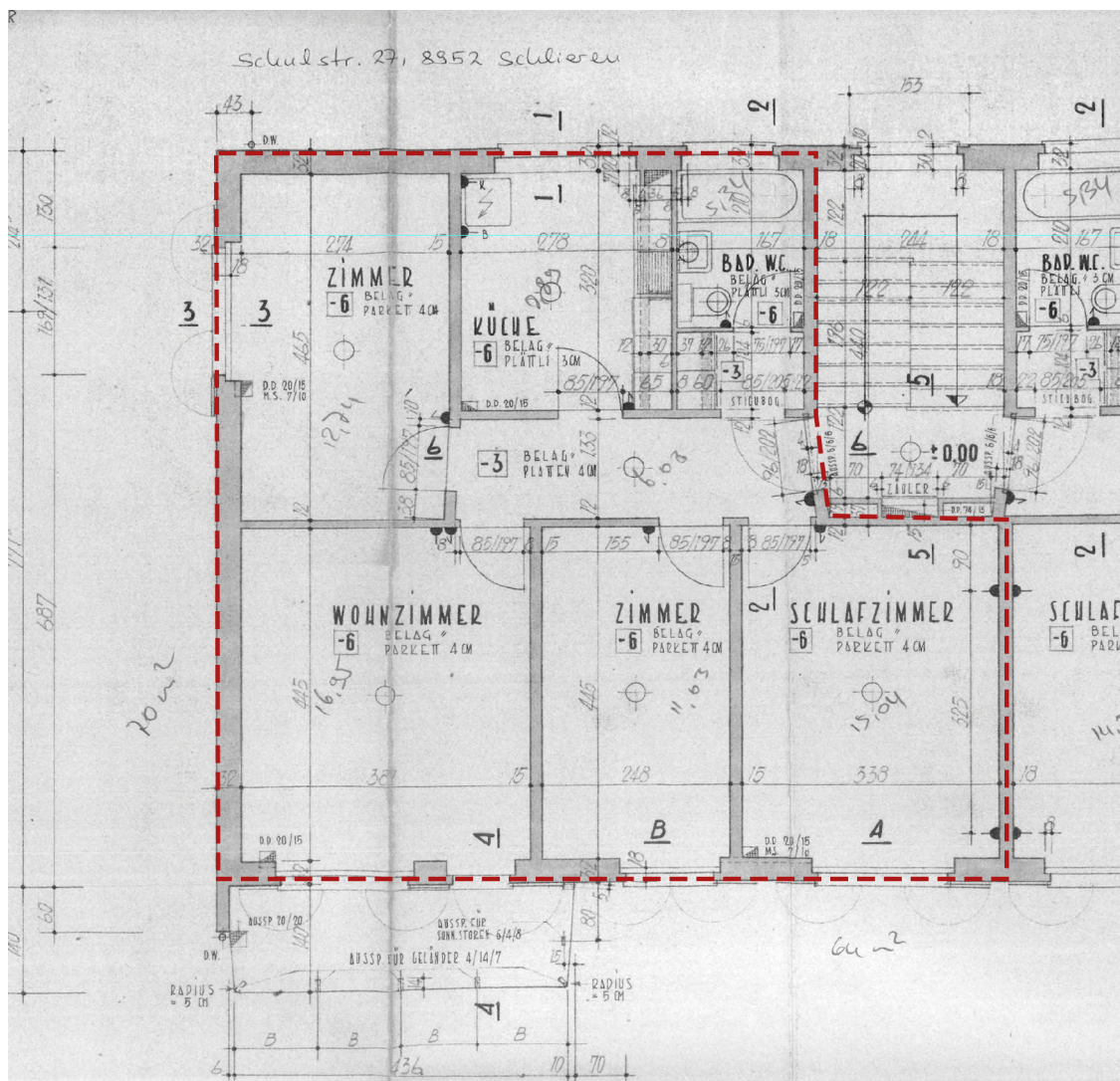


Figura 7.8: Estratto della planimetria originale dell'appartamento situato al terzo piano dell'edificio oggetto del caso studio. Fonte: Agenzia immobiliare Schaeppi Grundstücke AG

Dopo aver raccolto e analizzato tutte le informazioni e i documenti disponibili, si procede alla fase successiva: l'ispezione fisica.

### **7.2.3 Ispezione fisica, Rilievo e Acquisizione di Fotografie**

Condurre un sopralluogo e quindi un'ispezione fisica all'immobile oggetto di studio permette di verificare direttamente sul campo lo stato dell'edificio, le condizioni dei componenti e l'effettiva presenza di eventuali problematiche legate ai materiali o alla condizione della struttura portante, non sempre evidenti dalla sola documentazione.

Questa indagine permette inoltre di identificare eventuali discrepanze tra le informazioni riportate nei documenti e la realtà osservata, come variazioni nelle pavimentazioni o spessori murari, che potrebbero indicare l'aggiunta per esempio di materiali isolanti.

Tuttavia, per chiarire tali aspetti, sarebbe necessario eseguire verifiche invasive, le quali non sono state possibili nel contesto di questa tesi. Di conseguenza, l'analisi si baserà su ipotesi fondate su osservazioni visive.

In seguito al sopralluogo, durante il quale è stato effettuato un rilievo, sono state elaborate la planimetria dell'appartamento (visibile in fig. 7.10) e due sezioni, sia generali che di dettaglio (riportate in fig. 7.11 e 7.12 ). La planimetria include anche gli arredi presenti al momento dell'ispezione i quali, fatta eccezione per la cucina e il bagno, sono stati successivamente rimossi dagli inquilini.

L'edificio situato in Schulstrasse 27 si presenta come una palazzina residenziale di quattro piani fuori terra, caratterizzata da due corpi scala, ciascuno corrispondente a un ingresso separato. Ogni piano ospita due appartamenti: un quadrilocale e un trilocale. Nel piano seminterrato, per ciascun corpo scala, si trovano un locale lavanderia, due locali per stendere il bucato, un deposito per biciclette e un locale cantine. Un aspetto rilevante è inoltre l'assenza di un bunker antiatomico, elemento in realtà obbligatorio per tutti gli edifici realizzati in Svizzera.

Per quanto riguarda la struttura del tetto, non sono state reperite informazioni specifiche. Tuttavia, per quanto riguarda la struttura portante, è stato accertato che è costituita da muratura in laterizio e solai in calcestruzzo armato. Questi dettagli sono stati chiariti successivamente all'inizio della demolizione, quando sono



Figura 7.9: Immagini acquisite durante la demolizione dell'edificio in Schulstrasse 27, Schlieren. Si può notare come il solaio sia in calcestruzzo e come nelle pareti non sia presente nessun tipo di isolamento ma solamente mattoni

diventate visibili alcune parti strutturali ormai abbattute.

Durante il sopralluogo, è stato notato inoltre che gli infissi sono piuttosto recenti, probabilmente sostituiti di recente, mentre i portoni d'ingresso in legno appaiono essere ancora quelli originali.

Riguardo l'appartamento nello specifico, sono state acquisite diverse fotografie, le principali delle quali sono raccolte nella figura 7.13. Inoltre, sono state effettuate osservazioni dettagliate su ciascun ambiente, riportate di seguito.

- **Cucina.** L'ambiente presenta una pavimentazione in linoleum color beige, la quale risulta sollevata e danneggiata in altri. La planimetria originale indicava una pavimentazione in piastrelle che non è presente sotto il linoleum, come evidenziato dalla differenza di altezza tra il pavimento del corridoio e quello della cucina, una caratteristica inoltre riscontrabile in tutte le stanze

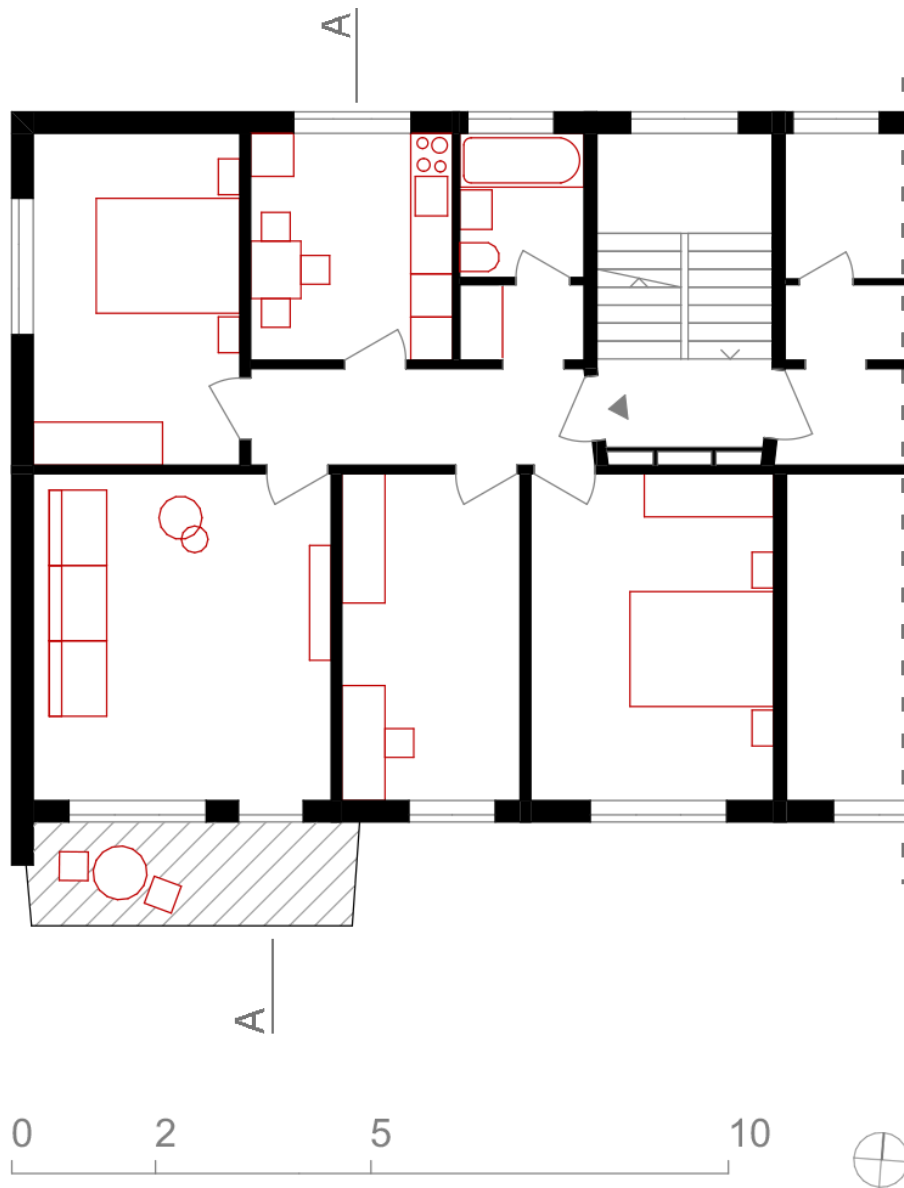


Figura 7.10: Planimetria dell'appartamento oggetto di studio, fuori scala

ad eccezione del bagno. Le pareti sono intonacate di bianco, con battiscopa in legno. E' presente un'unica finestra composta da tre ante, di cui due ad anta-ribalta, con avvolgibili come oscuranti. Un rivestimento in mattonelle

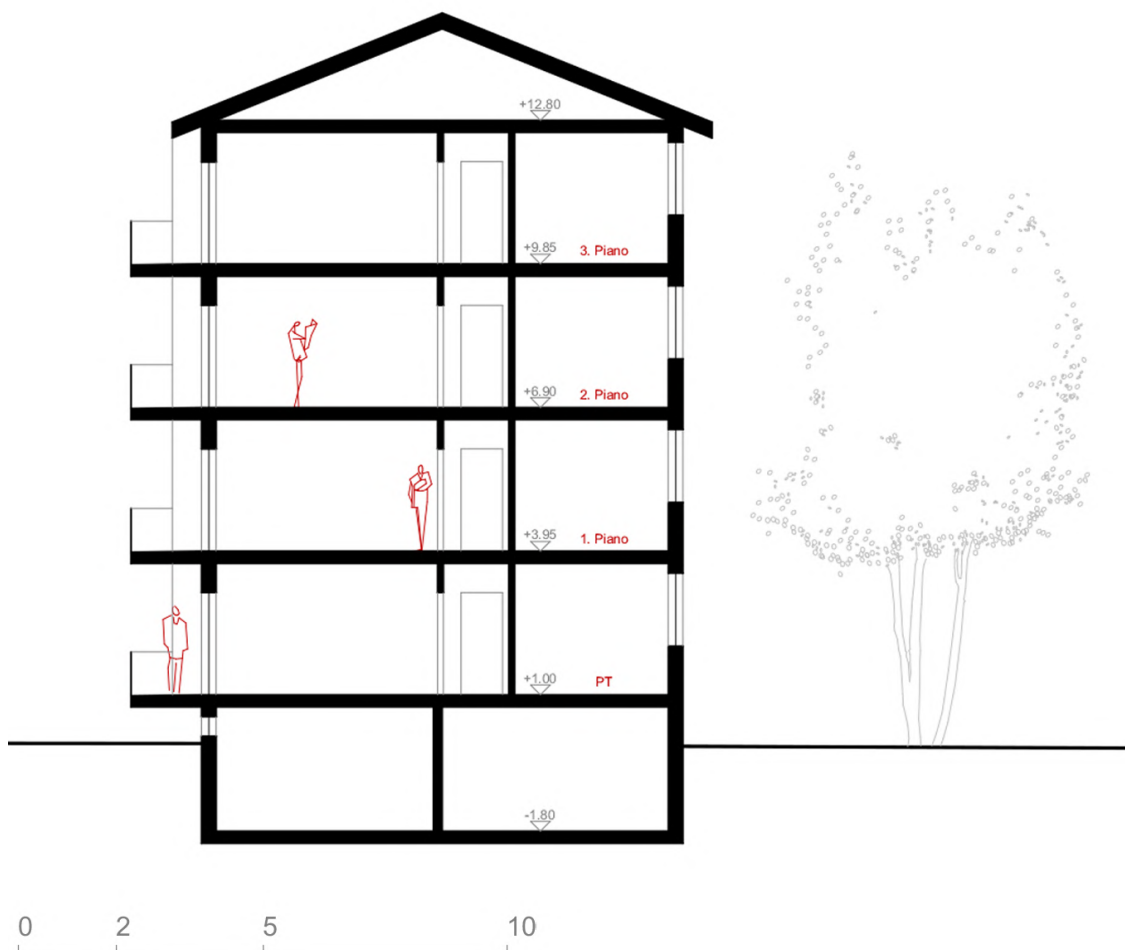


Figura 7.11: Sezione AA dell'edificio sito in Schulstrasse 27, fuori scala

di ceramica sui toni del marrone si trova lungo tutta la cucina e sul davanzale. La cucina è composta da cinque moduli in linea e uno aggiuntivo posto frontalmente. Sono presenti frigorifero, congelatore, forno, piano di cottura elettrico, lavastoviglie e lavabo, tutti apparentemente in buono stato di conservazione;

- **Bagno e disimpegno.** In questa stanza la pavimentazione è simile a quella della cucina ma si trova in condizioni migliori. Le pareti sono rivestite fino a



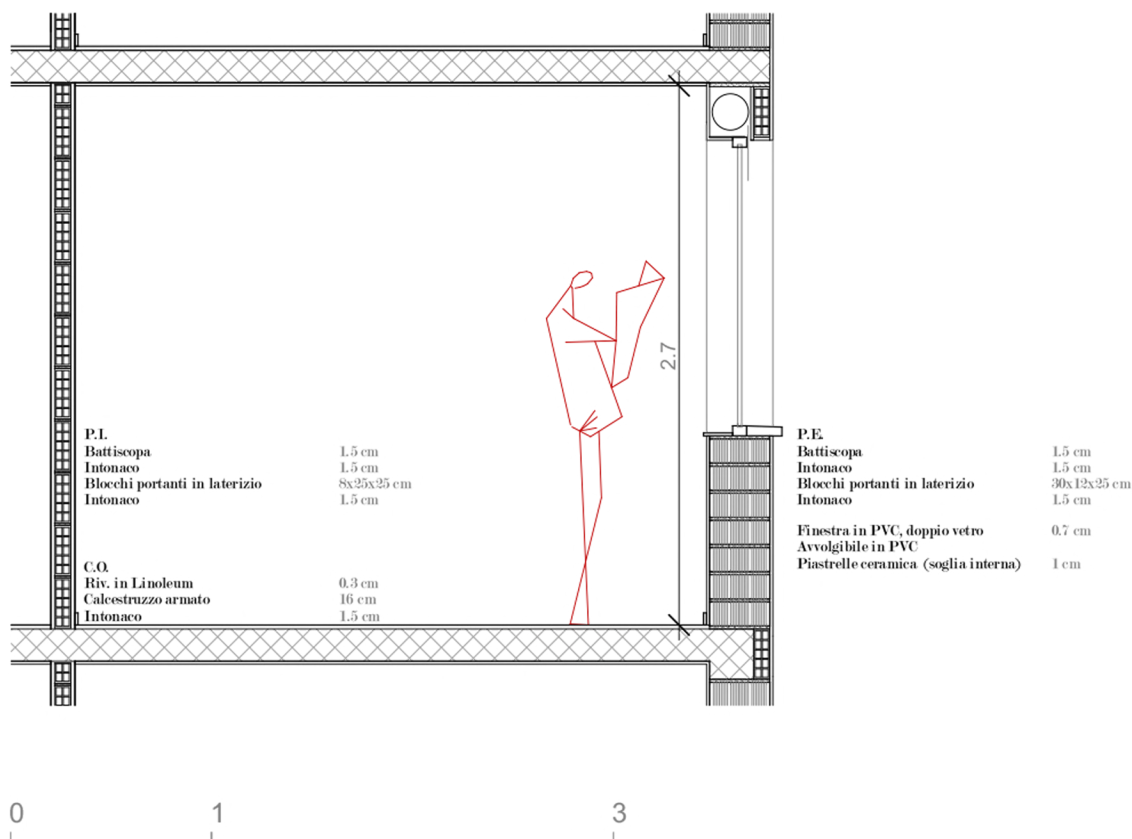


Figura 7.12: Sezione AA di dettaglio

2 m di altezza con piastrelle quadrate in ceramica di colore marrone chiaro. Successivamente alle piastrelle si trova una parte intonacata di bianco. Sono presenti un WC, un lavabo con specchio e una vasca da bagno rivestita con le stesse piastrelle delle pareti. La finestra è caratterizzata da due ante e presenta un avvolgibile;

- **Soggiorno.** Anche in questa stanza probabilmente è stato rimosso il parquet originale, sostituito con un laminato visibilmente in buono stato. Anche qui il battiscopa è in legno e le pareti sono rivestite con carta da parati verniciata di bianco, la quale presenta evidenti segni di danneggiamento e muffa. Dalla stanza si accede al balcone tramite una porta finestra affiancata da una finestra a tre ante. Il sistema di oscuramento è composto da persiane le quali

risultano essere in buono stato.

- **Corridoio.** Si tratta probabilmente l'unico ambiente con la pavimentazione originale, costituita da mattonelle in cotto. Le pareti sono intonacate di bianco e presenta un battiscopa in legno simile a quello delle altre stanze;
- **Stanza da letto principale.** Questa stanza è caratterizzata da una pavimentazione in laminato effetto legno, differente per colore e texture rispetto al soggiorno. Le pareti sono intonacate di bianco, mentre il battiscopa è in legno scuro. La finestra a tre ante presenta le stesse caratteristiche delle altre stanze;
- **Stanze secondari.** Per quanto riguarda la stanza più piccola da 11 m<sup>2</sup>, condivide le stesse caratteristiche del soggiorno, inclusa la pavimentazione in laminato effetto legno. L'unica differenza significativa è la finestra, composta da due ante anziché tre. La seconda stanza, quella esposta a ovest, è l'unica dell'appartamento a essere rivestita con una moquette grigiastra. Per il resto, presenta le stesse caratteristiche degli altri ambienti, inclusa una finestra a tre ante;

Queste osservazioni saranno utili per la fase successiva, che prevede la compilazione dello strumento fornito da Ecobau per la valutazione del potenziale di riuso.



Figura 7.13: In ordine, dall'alto a sinistra fino in basso a destra: cucina, bagno, corridoio, soggiorno, camera principale e una delle camere secondarie



## 7.2.4 Applicazione dello Strumento Ecobau di Valutazione del Potenziale di Riuso

Dopo aver completato le fasi iniziali di studio e analisi dell'oggetto di indagine, nonché raccolto le informazioni necessarie durante il sopralluogo, è stata eseguita la valutazione del potenziale di riuso utilizzando lo strumento fornito dall'associazione svizzera Ecobau, presentato nel capitolo 6.3. In sintesi, questo strumento consiste in una serie di fogli Excel in cui devono essere inseriti dati specifici per ogni componente dell'edificio o della costruzione in esame.

Le informazioni richieste includono dimensioni, quantità, posizione all'interno della costruzione (utile a facilitare l'eventuale operazione di decostruzione selettiva), stato di conservazione, tipologia di connessione e facilità di smantellamento. Prima di inserire i dati, è necessario selezionare la categoria del componente, scegliendo tra le seguenti opzioni:

- *Supporting structure* (struttura portante)
- *Building envelope* (involucro dell'edificio)
- *Exterior components* (componenti esterni)
- *Interior components* (componenti interni)
- *Building services* (impianti dell'edificio.)

Ogni categoria include inoltre diverse sottocategorie, elencate nella tabella 7.1.

Una volta individuata la categoria e la relativa sottocategoria del componente, si procede all'inserimento dei dati precedentemente menzionati.

Lo strumento valuta quindi il potenziale di riuso basandosi su tre fattori principali: lo stato dell'elemento (come nuovo, con lievi segni d'usura, con pesanti segni d'usura, o danneggiato), la funzionalità residua (completamente funzionante, con funzionalità limitata, difettoso ma riparabile, o irreparabile), l'eventuale presenza di sostanze inquinanti e la facilità di smontaggio.

<b>Struttura portante</b>	Strutture in legno e acciaio Scale in legno e acciaio Colonne in cls Elementi in cls Mattoni
<b>Involucro edificio</b>	Pannelli Finestre Parapetti e ringhiere Isolanti Grondaie e pluviale Elementi del tetto
<b>Componenti esterni</b>	Cassetta delle lettere Gradini scale esterne Rivestimenti (es. lastre) Mattoni
<b>Componenti interni</b>	Cucine Arredi integrati nella costruzione Porte interne Parquet e pavimenti a listelli Armadi e cucine a muro Elementi propri delle pareti Pannelli per pareti Pannelli per soffitti
<b>Impianti dell'edificio</b>	Illuminazione Apparecchi sanitari Radiatori Soffitti refrigeranti Impianti integrati nella costruzione Generatori di calore Sistemi di raffreddamento

Tabella 7.1: Le varie categorie e sottocategorie che è possibile scegliere durante l'uso del tool Ecobau per classificare i componenti

A seconda della combinazione di questi fattori, il potenziale di riuso viene valutato come:

- **Nullo**
  
- **Basso**

- **medio**
- **elevato**
- **molto elevato**

In base al risultato, è possibile determinare come impiegare il componente, tenendo in considerazione anche altri criteri non inclusi nel foglio di calcolo, come il valore architettonico, economico e la presenza di un mercato specifico, come illustrato nel capitolo precedente in figura 6.1. Le scelte possibili includono:

- Conservazione in loco: mantenere il componente nella posizione originale, evitando il suo smantellamento.
- Riuso on-site: riutilizzare o reimpiegare il componente in un altro progetto all'interno dello stesso sito di demolizione, riducendo problematiche ed emissioni legate al trasporto;
- Riuso off-site: riutilizzare o reimpiegare il componente in un progetto distante dal sito di demolizione;
- Vendita su piattaforma online: offrire il componente su piattaforme di compravendita, come quelle presentate nel capitolo 6.4
- Riciclo: opzione da scegliere se il componente è troppo danneggiato o difficile da smantellare senza provocare ulteriori danni;
- Smaltimento in discarica: l'alternativa meno preferibile, da considerare solo quando il riciclo non è possibile o quando il componente costituisce un pericolo per la salute o l'ambiente;

A seconda della scelta, lo strumento fornisce poi un output visivo: la cella adiacente si colora di diverse gradazioni di verde, arancione o rosso, indicando la sostenibilità della scelta fatta. I colori sono riportati nella figura 7.14.

Entrando nel dettaglio della valutazione svolta per questo lavoro di tesi, notiamo come sono stati creati in realtà due fogli distinti. Questo si è reso necessario poiché

Conservazione in loco	■
Riutilizzo off site nello stesso progetto	■
Riutilizzo off site in un progetto differente	■
Offerta su piattaforma online	■
Riciclo	■
Smaltimento in discarica	■

Figura 7.14: Colori associati alla destinazione del componente. Fonte: elaborazione personale

un solo foglio, con solo 30 righe disponibili e senza la possibilità di aggiungerne altre, non era sufficiente per gestire il numero totale di componenti dell'appartamento. Pertanto, si è deciso di suddividere i dati su due fogli separati.

Nella figura 7.18 è riportata la prima metà del primo foglio di analisi, che include le colonne relative alla descrizione degli elementi, alle loro dimensioni, quantità e localizzazione. La figura 7.19 mostra invece la seconda metà del primo foglio, contenente le colonne dedicate all'analisi dello stato dei componenti, delle connessioni e della facilità di smontaggio. In questa sezione si trovano anche i risultati dell'analisi del potenziale, le raccomandazioni d'uso e le indicazioni simboliche colorate. La stessa struttura è stata adottata per il secondo foglio, con la prima metà visibile in figura 7.20 e la seconda metà in figura 7.21.

Durante la fase di compilazione e analisi, è emerso che lo strumento presenta alcune limitazioni che hanno influenzato anche la valutazione del potenziale. In particolare, non è stato possibile aggiungere nuove categorie per classificare i componenti, e spesso quelle esistenti non sono risultate adeguate per gli elementi esaminati. In questi casi, si è dovuto classificare i componenti nella categoria più vicina alla realtà.

Un esempio è rappresentato dalle pavimentazioni: l'unica sotto-categoria disponibile era quella dei parquet, motivo per cui anche i pavimenti in cotto sono stati inseriti in tale categoria.

Di seguito, vengono descritte in dettaglio le analisi di alcuni esempi significativi:

- Supporting structure - Struttura portante: Blocchi forati da tamponamento esterno (numero 1 fig. 7.18 e 7.19).

Per calcolare la quantità di elementi presenti, è stata considerata la lunghezza complessiva delle pareti esterne, con un'altezza di 2,7 m. Si presuppone che i blocchi mostrino sicuramente segni di usura, ma che conservino comunque le loro caratteristiche funzionali. Inoltre si presuppone che non siano presenti sostanze pericolose per l'uomo o l'ambiente. Per quanto riguarda il metodo di assemblaggio, è stata selezionata l'opzione "glued, welded, moulded" dal menù a tendina, poiché i blocchi sono fissati con uno strato di malta, rendendo lo smantellamento complesso.

Complessivamente, il potenziale di riuso è stato valutato come medio, e si è optato per un possibile impiego futuro dei blocchi off site. Questa decisione è stata presa in considerazione dell'ipotesi che i mattoni necessitino di interventi di manutenzione o test per verificarne le proprietà fisico-meccaniche, rendendoli quindi non adatti a un riuso on-site;

- Building envelope - involucro edilizio: finestre e porta-finestra (elementi 16,17 e 18 della tabella in fig. 7.18 e 7.19).

Si tratta di serramenti alti 1,5 m (ad eccezione della portafinestra che conduce al balcone), distinti per numero di ante: tre ante per le camere più grandi, il soggiorno e la cucina, e due ante per il bagno e la camera più piccola. Un esempio di serramento a tre ante è mostrato nella figura 7.15, che ritrae la finestra della camera più grande.

Tutti i serramenti, realizzati in PVC bianco e dotati di doppi vetri, sono in ottime condizioni, probabilmente perché sostituiti non molti anni fa. Essendo anche facili da smantellare, questi elementi presentano un elevato potenziale di riuso e potrebbero essere riutilizzati direttamente nel nuovo progetto previsto da Schindler.

Inoltre, se il numero di serramenti non dovesse essere sufficiente, ipotesi probabile vista la previsione di un maggior numero di appartamenti nel nuovo progetto, sarà relativamente semplice reperire ulteriori serramenti simili,

sempre di riuso, grazie alla diffusione di finestre in PVC;



Figura 7.15: Finestra a tre ante della camera da letto più grande

- Interior components - componenti interni: pavimenti in laminato (numero 4 e 5 in fig. 7.18 e 7.19).

Le pavimentazioni si differenziano esclusivamente per l'effetto delle venature e il colore del legno che imitano, mentre le dimensioni sono identiche.

Per il laminato di tipo 1, presente sia nel soggiorno che nella camera più piccola, sono stati contati 120 listelli, mentre per il tipo 2, presente solo nella camera da letto più grande, ne sono stati contati 66. Entrambe le pavimentazioni mostrano lievi segni di usura, come piccoli graffi, ma sono state considerate pienamente funzionali anche per un futuro utilizzo. È stato riportato che non contengono sostanze pericolose e che possono essere rimosse facilmente senza danni, poiché il laminato è posato senza l'uso di adesivi, ma tramite un sistema di incastro maschio-femmina.

Per queste caratteristiche, il potenziale di riuso è stato valutato come molto elevato, con un possibile futuro impiego on site.

Al contrario, la pavimentazione del bagno e della cucina, costituita da linoleum (6 in fig. 7.18 e 7.19), ha ricevuto una valutazione quasi opposta.

Questo materiale presenta segni di utilizzo pesanti e diverse parti danneggiate, risultando irreparabile. Inoltre, essendo stato posato con l'uso di adesivi, il suo smantellamento sarà particolarmente complesso, portando a un potenziale di riuso nullo. Pertanto, è stato deciso di destinare il linoleum a un processo di riciclo;



Figura 7.16: Dall'alto al basso: laminato tipo 1 e laminato tipo 2

- Interior components - componenti interni: porte interne (numero 11 e 12 in fig. 7.18 e 7.19).

Le sei porte interne, in legno verniciato di bianco, condividono caratteristiche positive simili a quelle del pavimento in laminato. Non mostrano segni di usura significativi, sono completamente funzionanti e facili da smontare. Questo comporta un potenziale di riuso molto elevato e la possibilità di un

riuso on site, grazie alla loro omogeneità e standardizzazione in termini di materiali, dimensioni (ad eccezione di quella del bagno, che è solo lievemente più stretta) e colore. Questa uniformità consente ai progettisti del futuro progetto Schindler di considerarle per il riutilizzo nei nuovi appartamenti, grazie alla disponibilità di uno stock omogeneo e numeroso;



Figura 7.17: Esempio di porta interna in legno verniciato di bianco

- Building services - Impianti: Radiatori (elementi 23-26 della fig. 7.18 e 7.19). I radiatori in ghisa verniciati di bianco (probabilmente verniciati successivamente all'installazione) sono di quattro tipologie diverse per dimensioni, sia in altezza che in lunghezza. È stato rilevato un alto livello di usura, principalmente a causa della vernice, che risulta danneggiata in alcuni punti. Tuttavia, ciò non compromette la loro funzionalità, e il fatto che siano facili da smontare conferisce loro un potenziale di riuso elevato, in quanto oltretutto la vernice può essere riparata facilmente.

Data la varietà di dimensioni, è stato ipotizzato un riuso off-site in altri progetti. Le diverse dimensioni dei radiatori potrebbero essere più facilmente



distribuite tra vari progetti che non richiedono uno stock omogeneo di elementi, ma piuttosto una gamma di dimensioni diverse per adattarsi a esigenze specifiche;

Dopo aver inserito tutti i dati richiesti per ciascun componente conosciuto (ovvero quelli che è stato possibile ispezionare e analizzare durante il sopralluogo) dell'appartamento oggetto di studio e aver preso visione della valutazione del potenziale di riuso fornita dallo strumento, è stata eseguita un' ulteriore analisi mirata a stimare quanti rifiuti sarebbero ipoteticamente recuperati e quale sarebbe la loro destinazione.

Tale valutazione verrà illustrata nel prossimo capitolo, che rappresenta anche la fase finale dell'approccio suggerito da Ecobau per comprendere la circolarità di un edificio, ovvero la stesura del rapporto finale.

ID	Component group	Component Description	Designation Description	Manufact. type	Dimensions			Quantity	Total Quantity	Location in the building		
					Type	Width	Depth			Height	Unit	Storey
1	supporting structure	bricks	Blocco in laterizio da lampanamento esterno	30x12x25 cm	Volume	0,25	0,3	0,12 m1	2280 SIK	20,34 m3	2nd Fl.	pareti esterne
2	supporting structure	Bricks	Mattioni forati 8x25x25	8x25x25 cm	Volume	0,08	0,25	0,25 m1	1704 SIK	8,52 m3	2nd Fl.	pareti divisorie interne
3	supporting structure	Concrete elements	soffitto in cemento	superficie lorda appartamento: 91,5	Volume	91,5	1	0,16 m1	1 SIK	14,64 m3	2nd Fl.	
4	Interior components	Parquet and strip flooring	Laminato tipo 1	19,3x129,2x0,8 cm	Volume	0,193	1,292	0,08 m1	120 SIK	2,39392 m3	2nd Fl.	pavimentazione del soggiorno e della camera più piccola
5	Interior components	Parquet and strip flooring	Laminato tipo 2	19,3x129,2x0,8 cm	Volume	0,193	1,292	0,08 m1	66 SIK	1,3166 m3	2nd Fl.	installazione camera da letto principale
6	Interior components	Parquet and strip flooring	Linoleum		Volume	3	3,7	0,03 m1	1 SIK	0,333 m3	2nd Fl.	pavimentazione della cucina e del bagno (fatta eccezione per l'area della vasca)
7	Interior components	Parquet and strip flooring	Pavimento in cotto	10x20x4 cm	Volume	0,1	0,2	0,04 m1	380 SIK	0,304 m3	2nd Fl.	pavimento in cotto presente nel corridoio e nel disimpegno (sono state conteggiate solo quelle intere)
8	Interior components	Parquet and strip flooring	Moquette		Volume	4,6	2,9	0,015 m1	1 SIK	0,2001 m3	2nd Fl.	Moquette che riveste il pavimento della stanza da letto esposta a ovest
9	Interior components	Element walls	Piastrelle tipo 1	5x10x1 cm	Volume	0,05	0,1	0,06 m1	168 SIK	0,0672 m3	2nd Fl.	piastrelle che compongono il paraschizzi nella cucina
10	Interior components	Element walls	Piastrelle tipo 2	15x15x1 cm	Volume	0,15	0,15	0,06 m1	283 SIK	0,5274 m3	2nd Fl.	piastrelle presenti sulle pareti del bagno e sulla vasca (sono state conteggiate solamente quelle intere)
11	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	porte interne	85x197 cm	Volume	0,85	0,04	1,97 m1	5 SIK	0,3349 m3	2nd Fl.	porte d'accesso presenti in ogni ambiente tranne il bagno
12	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	porta bagno	75x197 cm	Volume	0,75	0,04	1,97 m1	1 SIK	0,0591 m3	2nd Fl.	porta del bagno
13	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	porta d'ingresso	95x202 cm	Volume	0,95	0,05	2,02 m1	1 SIK	0,09595 m3	2nd Fl.	porta dell'ingresso
14	Interior components	Element walls	battiscopa in legno	6x0,2 cm	Volume	70	0,015	0,05 m1	1 SIK	0,0525 m3	2nd Fl.	battiscopa presente lungo tutte le pareti interne dell'appartamento tranne quelle del bagno e del disimpegno.
15	Building envelope	railings	parapetto		Volume	6,75	0,03	1 m1	1 SIK	0,2025 m3	2nd Fl.	parapetto in metallo presente nell'unico balcone dell'appartamento
16	Building envelope	windows	finestra tipo 1	180x150 cm	Volume	1,8	1,5	0,07 m1	4 SIK	0,756 m3	2nd Fl.	tipologia di finestra presente nel soggiorno, nelle due camere da letto più grandi ed in cucina.
17	Building envelope	windows	finestra tipo 2	120x150 cm	Volume	1,2	1,5	0,07 m1	2 SIK	0,252 m3	2nd Fl.	tipologia di finestra presente in bagno e nella camera più piccola, ovvero quella esposta a sud.
18	Building envelope	windows	porta finestra	90x200 cm	Volume	0,9	2	0,07 m1	1 SIK	0,126 m3	2nd Fl.	porta finestra esposta a sud, con pannello in MDF e base in alluminio
19	Interior components	Kitchens	pannelli MDF per cucina tipo 1	moduli da 60x60x90 cm	Volume	0,6	0,025	0,9 m1	8 SIK	0,108 m3	2nd Fl.	pannelli in MDF costituenti le parti basse della cucina
20	Interior components	Kitchens	pannelli MDF per cucina tipo 2	moduli da 60x60x200 cm	Volume	0,6	0,035	2 m1	11 SIK	0,462 m3	2nd Fl.	pannelli in MDF costituenti i moduli alti 2 metri della cucina
21	Interior components	Kitchens	pannelli MDF per cucina tipo 3	60x60x50 cm	Volume	0,6	0,025	0,5 m1	13 SIK	0,0975 m3	2nd Fl.	pannelli in MDF costituenti le credenze della cucina
22	Interior components	Built-in furniture	pannelli MDF armadio disimpegno	60x105x250 cm	Volume	0,6	0,025	2,5 m1	5 SIK	0,1875 m3	2nd Fl.	armadio presente nel disimpegno
23	Building services	Radiators, cooling ceilings	radiatore tipo 1	150x10x50 cm	Volume	1,5	0,1	0,5 m1	1 SIK	0,075 m3	2nd Fl.	radiatore presente nella camera da letto ad ovest.
24	Building services	Radiators, cooling ceilings	radiatore tipo 2	120x10x50 cm	Volume	1,2	0,1	0,5 m1	2 SIK	0,12 m3	2nd Fl.	radiatori presenti in soggiorno e nella camera da letto principale
25	Building services	Radiators, cooling ceilings	radiatore tipo 3	90x10x50 cm	Volume	0,9	0,1	0,5 m1	1 SIK	0,045 m3	2nd Fl.	radiatore presente nella camera da letto piccola a sud
26	Building services	Radiators, cooling ceilings	radiatore tipo 4	90x10x60 cm	Volume	0,9	0,1	0,9 m1	2 SIK	0,162 m3	2nd Fl.	radiatori presenti in cucina e bagno
27	Building services	Sanitary appliances	vc. lavabo, vasca	dim. Vasca da bagno 180x60x80 cm, lavabo 50x65 cm	Volume	0,2	1	1 m1	3 SIK	0,6 m3	2nd Fl.	
28	Building services	Built-in appliances	lavastoviglie	Prod: Electrolux	Volume	0,6	0,55	0,82 m1	1 SIK	0,2706 m3	2nd Fl.	
29	Building services	Built-in appliances	forno con piano cottura	dim. Forno V-Zug 45x51x60	Volume	0,56	0,56	0,6 m1	1 SIK	0,18816 m3	2nd Fl.	
30	Building services	Built-in appliances	frigorifero con congelatore	60x60x176	Volume	0,6	0,6	1,76 m1	1 SIK	0,6336 m3	2nd Fl.	

Figura 7.18: Analisi del potenziale di riuso Ecobau, prima metà del primo foglio Excel.

Analisi del Potenziale di Riuso di Un Edificio in via di Demolizione nel Canton Zurigo

ID	Component group	Component	Condition	Function	Pollutants	Mounting	Dismantling	Remarks	Rev. Potential	Recommendation
			Optical			Type	(w/o destr.)	Text	Medium	Further utilisation
1	supporting structure	bricks	Heavy signs of use	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Very complex		Medium	Reuse in another project
2	supporting structure	Bricks	Heavy signs of use	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Very complex		Medium	Reuse in another project
3	supporting structure	Concrete elements	Heavy signs of use	Limited functionality	None	Glued, welded, moulded	Impossible		None	Demolition with material recycling Recycling
4	Interior components	Parquet and strip flooring	Slight signs of wear	Fully functional	None	Loose	Simple	Colore più scuro, venature più scure	Very high	Reuse in the same project
5	Interior components	Parquet and strip flooring	Slight signs of wear	Fully functional	None	Loose	Simple	Colore più chiaro e arancione con venature più piccole e meno definite	Very high	Reuse in the same project
6	Interior components	Parquet and strip flooring	Heavy signs of use	Defect (irreparable)	Unlikely	Glued, welded, moulded	Very complex		None	Demolition with material recycling Recycling
7	Interior components	Parquet and strip flooring	Heavy signs of use	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Complex		Medium	Tender on platform
8	Interior components	Parquet and strip flooring	Heavy signs of use	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Complex	colore grigio	Medium	Tender on platform
9	Interior components	Element walls	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Complex	colore marrone chiaro con decorazioni floreali	Medium	Reuse in another project
10	Interior components	Element walls	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Complex	colore marrone chiaro con decorazioni floreali	Medium	Reuse in the same project
11	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Porte in legno verniciato di bianco avanti maniglia in alluminio.	Very high	Reuse in the same project
12	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Porte in legno verniciato di bianco avanti maniglia in alluminio.	Very high	Reuse in the same project
13	Interior components	Interior doors (fire doors, normal doors)	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Very simple		Very high	Reuse in the same project
14	Interior components	Element walls	Heavy signs of use	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
15	Building envelope	railings	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Simple		High	Reuse in another project
16	Building envelope	windows	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Simple	PVC bianco, doppio vetro. Tre ante di cui due a ante-ribalta.	Very high	Reuse in the same project
17	Building envelope	windows	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Simple	PVC bianco, doppio vetro. Due ante di cui una a ante-ribalta.	Very high	Reuse in the same project
18	Building envelope	windows	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Simple	PVC bianco, doppio vetro.	Very high	Reuse in the same project
19	Interior components	Kitchens	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Colore noce scuro, laccato	Very high	Reuse in another project
20	Interior components	Kitchens	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Colore noce scuro, laccato	Very high	Reuse in another project
21	Interior components	Kitchens	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Colore noce scuro, laccato	Very high	Reuse in another project
22	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	Colore bianco, laccato	Very high	Tender on platform
23	Building services	Radiators, cooling ceilings	Heavy signs of use	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	radiatori in ghisa verniciati di bianco	High	Reuse in another project
24	Building services	Radiators, cooling ceilings	Heavy signs of use	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	radiatori in ghisa verniciati di bianco	High	Reuse in another project
25	Building services	Radiators, cooling ceilings	Heavy signs of use	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	radiatori in ghisa verniciati di bianco	High	Reuse in another project
26	Building services	Radiators, cooling ceilings	Heavy signs of use	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	radiatori in ghisa verniciati di bianco	High	Reuse in another project
27	Building services	Sanitary appliances	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
28	Building services	Built-in appliances	As good as new	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple		Very high	Tender on platform
29	Building services	Built-in appliances	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple	piano cottura elettrico	Very high	Tender on platform
30	Building services	Built-in appliances	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Very simple		Very high	Tender on platform

Figura 7.19: Analisi del potenziale di riuso Ecobau, seconda metà del primo foglio Excel.

ID	Component group	Component	Designation Description	Manufact. type	Dimensions			Quantity	Total Quantity	Location in the building				
					Type	Volume	Width			Depth	Height	Unit	Storey	Text
1	Building envelope	windows	persiane tipo 1	60x150 cm	Volume	0.6	0.04	1.5	13	Slk	0.468	m3	2nd Fl.	persiane appartenenti alle finestre da tre ante (soggiorno e due camere da letto)
2	Building envelope	windows	persiane tipo 2	90x200 cm	Volume	0.9	0.04	2	1	Slk	0.072	m3	2nd Fl.	persiana appartenente alla finestra da due ante della camera più piccola
3	Building envelope	windows	avvolgibile		Volume	1.2	1.5	0.015	2	Slk	0.054	m3	2nd Fl.	avvolgibili delle finestre della cucina e del bagno
4	Interior components	Built-in furniture	binario per tende tipo 1	190x25x5 cm	Volume	1.9	0.25	0.05	2	Slk	0.0475	m3	2nd Fl.	binario built-in in legno posto sopra le finestre delle due camere più grandi
5	Interior components	Built-in furniture	binario per tende tipo 2	120x25x5 cm	Volume	1.2	0.25	0.05	1	Slk	0.015	m3	2nd Fl.	binario built-in in legno posto sopra la finestra della camera più piccola
6	Interior components	Built-in furniture	binario per tende tipo 3	160x25x5 cm	Volume	1.6	0.25	0.05	1	Slk	0.02	m3	2nd Fl.	binario built-in in legno posto sopra la finestra della cucina
7	Interior components	Built-in furniture	binario per tende tipo 4	415x25x5 cm	Volume	4.15	0.25	0.05	1	Slk	0.05188	m3	2nd Fl.	binario built-in in legno posto lungo tutta la parete sud del soggiorno
8	Interior components	Built-in furniture	avanzate (pannello in legno) tipo 1	190x20x3 cm	Volume	1.9	0.2	0.03	3	Slk	0.0342	m3	2nd Fl.	avanzate in legno delle finestre del soggiorno e delle camere da letto più grandi
9	Interior components	Built-in furniture	avanzate (pannello in legno) tipo 2	120x20x3 cm	Volume	1.2	0.2	0.03	2	Slk	0.0144	m3	2nd Fl.	avanzate in legno della finestra della camera più piccola
10	Interior components	Parquet and strip flooring	tappetino soffiando laminato		Volume	46.4	1	0.015	1	Slk	0.686	m3	2nd Fl.	tappetino posto sotto il laminato delle camere da letto e del soggiorno
11	Interior components	Wall panelling	carta da parati		Volume	57	0.001	2.7	1	Slk	0.1539	m3	2nd Fl.	carta da parati intonacata di bianco presente nelle tre camere da letto e nel soggiorno
12	Interior components	Kitchens	topper bancone cucina		Volume	1.5	0.6	0.04	1	Slk	0.036	m3	2nd Fl.	
13	Interior components	Kitchens	pannelli MDF cucina tipo 4		Volume	0.3	0.025	0.9	2	Slk	0.0135	m3	2nd Fl.	pannelli modulo più piccolo cucina

Figura 7.20: Analisi del potenziale di riuso Ecobau, prima metà del secondo foglio Excel.

ID	Component group	Component	Condition Optical	Function	Pollutants	Mounting Type	Dismantling Expend. (w/o destr.)	Remarks (w/o destr.) Text	Rev. Potential	Recommendation Further utilisation
1	Building envelope	windows	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Very simple		Very high	Reuse in the same project
2	Building envelope	windows	As good as new	As good as new	None	Screwed, plugged	Very simple		Very high	Reuse in the same project
3	Building envelope	windows	Heavy signs of use	Limited functionality	None	Screwed, plugged	Simple		Medium	Tender on platform
4	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
5	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
6	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
7	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Glued, welded, moulded	Simple		Medium	Tender on platform
8	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Simple		High	Reuse in another project
9	Interior components	Built-in furniture	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Simple		High	Reuse in another project
10	Interior components	Parquet and strip flooring	Heavy signs of use	Limited functionality	Unlikely	Glued, welded, moulded	Complex		Low	Tender on platform
11	Interior components	Wall panelling	Damaged	Defect (irreparable)	Unclear	Glued, welded, moulded	Very complex		None	Demolition with material recycling
12	Interior components	Kitchens	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Simple	acciaio satinato	High	Tender on platform
13	Interior components	Kitchens	Slight signs of wear	Fully functional	None	Screwed, plugged	Simple	colore noce scuro, laccato	High	Reuse in another project

Figura 7.21: Analisi del potenziale di riuso Ecobau, seconda metà del secondo foglio Excel.

## 7.2.5 Risultati finali

L'ultima fase della metodologia Ecobau per la valutazione della circolarità di un edificio consiste nella stesura di un rapporto finale, che raccoglie e presenta tutti i risultati ottenuti. In questa fase sono stati quindi esaminati i dati e gli esiti estrapolati dallo strumento Ecobau, con particolare attenzione ai volumi dei vari componenti. Si è andato quindi ad analizzare il volume dei rifiuti recuperabili, il loro potenziale di riuso e la loro destinazione finale.

Infine, si è arrivati alla creazione di grafici utili per valutare in che modo e in quale misura i componenti derivati dalla demolizione dell'appartamento oggetto di studio possano essere reintegrati in un nuovo ciclo di vita

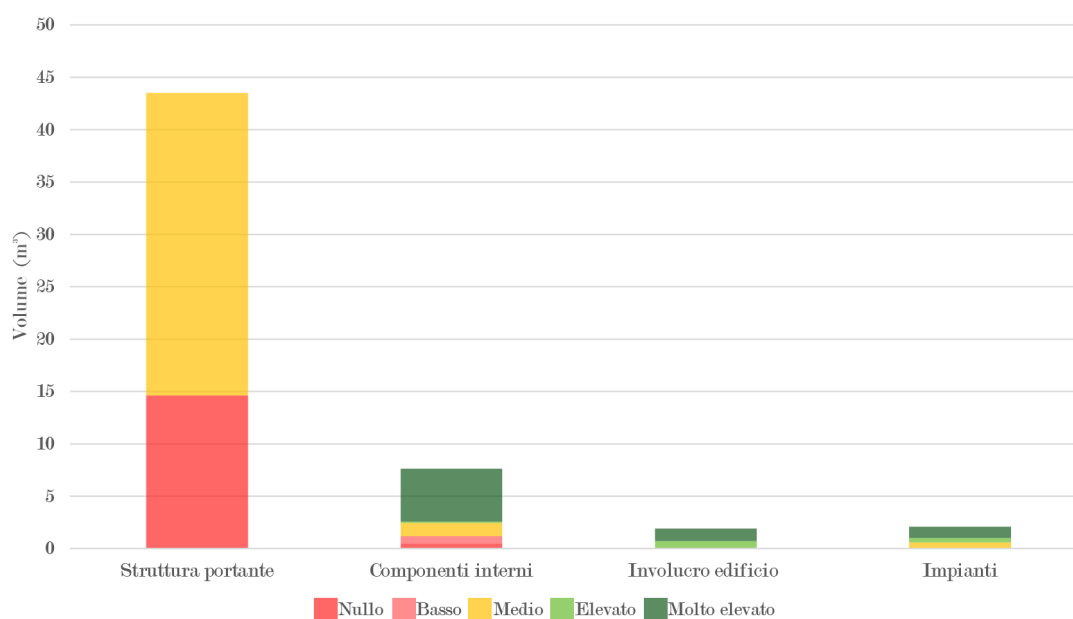


Figura 7.22: Analisi del potenziale di riuso dei rifiuti da demolizione in base alle categorie proposte dallo strumento Ecobau

Entrando nel dettaglio, il grafico in fig. 7.22 mette in relazione il potenziale di riuso con il volume totale dei componenti suddivisi secondo le categorie proposte dallo strumento Ecobau.

In particolare, il grafico mostra che il volume complessivo dei rifiuti da demolizione è maggiormente concentrato nella struttura portante, con circa 43 m<sup>3</sup>, dove il potenziale di riutilizzo risulta medio o addirittura nullo.

Al contrario, categorie come i componenti interni, l'involucro dell'edificio e gli impianti generano volumi di rifiuti più ridotti, ma una parte significativa di questi ha un potenziale di riutilizzo elevato o molto elevato. Un esempio significativo è rappresentato dai componenti interni, che su un totale di circa 8 m<sup>3</sup> includono 5 m<sup>3</sup> con un potenziale di riutilizzo molto elevato.

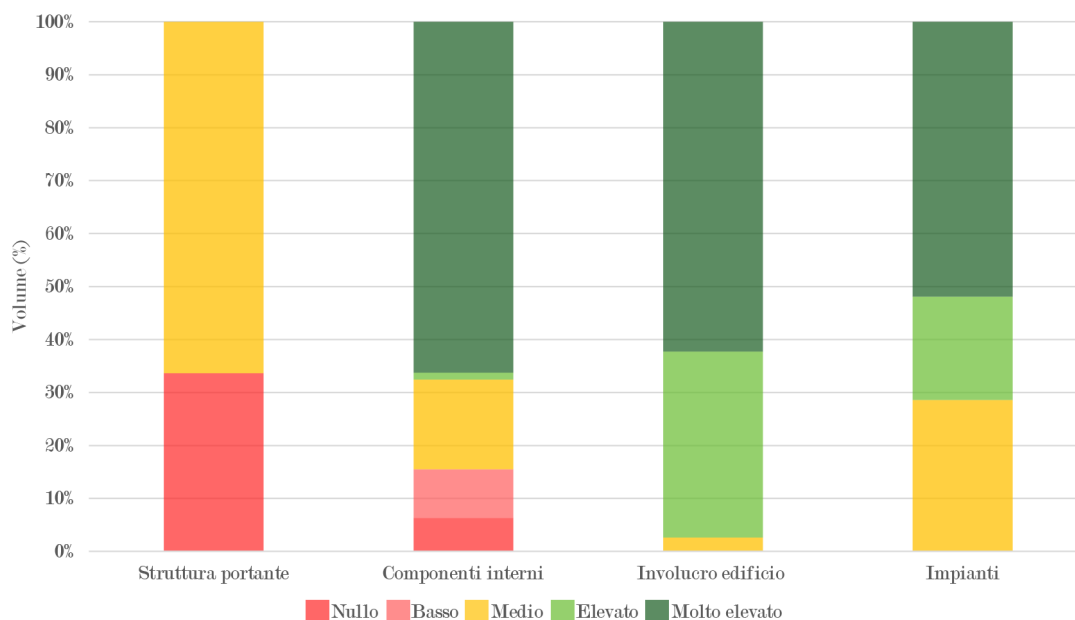


Figura 7.23: Distribuzione percentuale del potenziale di riutilizzo dei rifiuti da demolizione suddivisi in base alle categorie proposte dallo strumento Ecobau

Proseguendo con il grafico in fig. 7.23, esso mostra la distribuzione percentuale del potenziale di riutilizzo delle varie categorie dei rifiuti derivanti dalla demolizione. E' possibile notare come i componenti della struttura portante abbiano un potenziale di riutilizzo non ottimale, con una parte consistente (30%) avente potenziale addirittura nullo.

Questo avviene perché, come spiegato nei capitoli precedenti, la parte strutturale

degli edifici è attualmente la più difficile da recuperare, a causa delle tecnologie costruttive utilizzate in passato. L'appartamento in Schulstrasse 27 non fa eccezione, poiché presenta pareti esterne con blocchi portanti in laterizio e solai in calcestruzzo armato.

La parte non recuperabile, quindi con potenziale nullo, è sicuramente costituita dal solaio in calcestruzzo armato, mentre i mattoni, seppur con difficoltà (sia in termini di tempo che di possibilità di recupero senza danni), presentano un potenziale medio. Questo significa che è considerato comunque possibile recuperarli ma sicuramente risulta essere complesso.

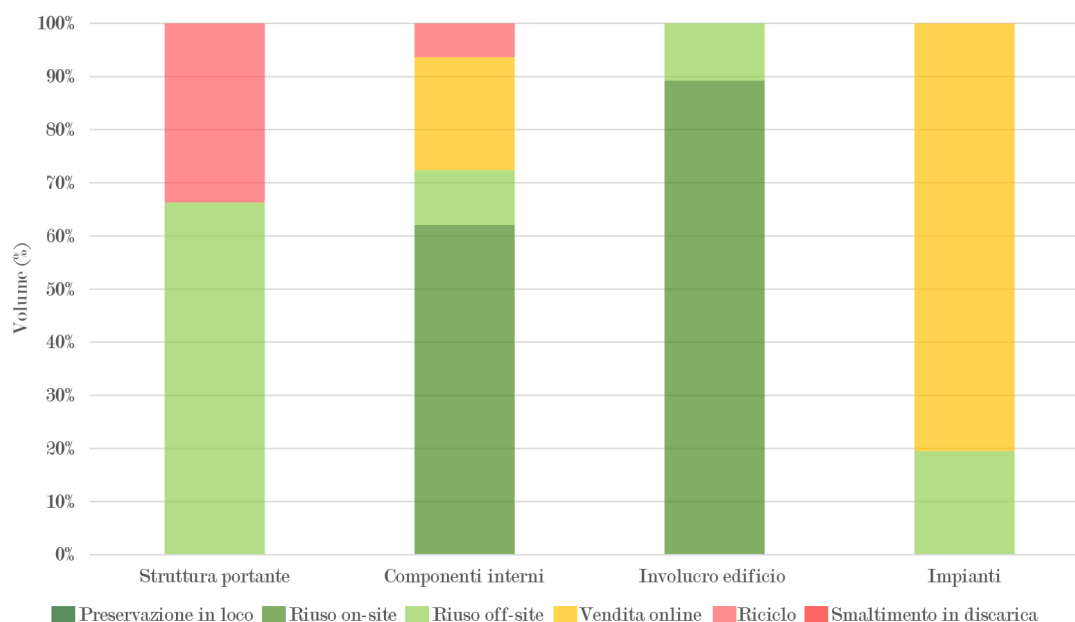


Figura 7.24: Distribuzione percentuale della tipologia di impiego futuro raccomandato

Proseguendo con l'analisi dei risultati, si è passati poi a comprendere le destinazioni dei vari componenti di recupero, cercando di capire quali categorie fossero più propense al riuso (se on site o off site) e quali invece rappresentassero la sfida più grande.



In fig. 7.24 si osserva la distribuzione percentuale della tipologia di gestione dei rifiuti da demolizione (se riutilizzo on-site, off-site, vendita online, riciclo o smaltimento in discarica) all'interno delle varie categorie di componenti.

Si nota come la struttura portante dell'edificio, che rappresenta la porzione volumetricamente maggiore, contenga una parte significativa non destinata al riutilizzo ma bensì al riciclo. Precisamente si tratta di circa  $15 \text{ m}^3$  di calcestruzzo, pari al 30% del totale dei rifiuti da demolizione provenienti dalla struttura portante.

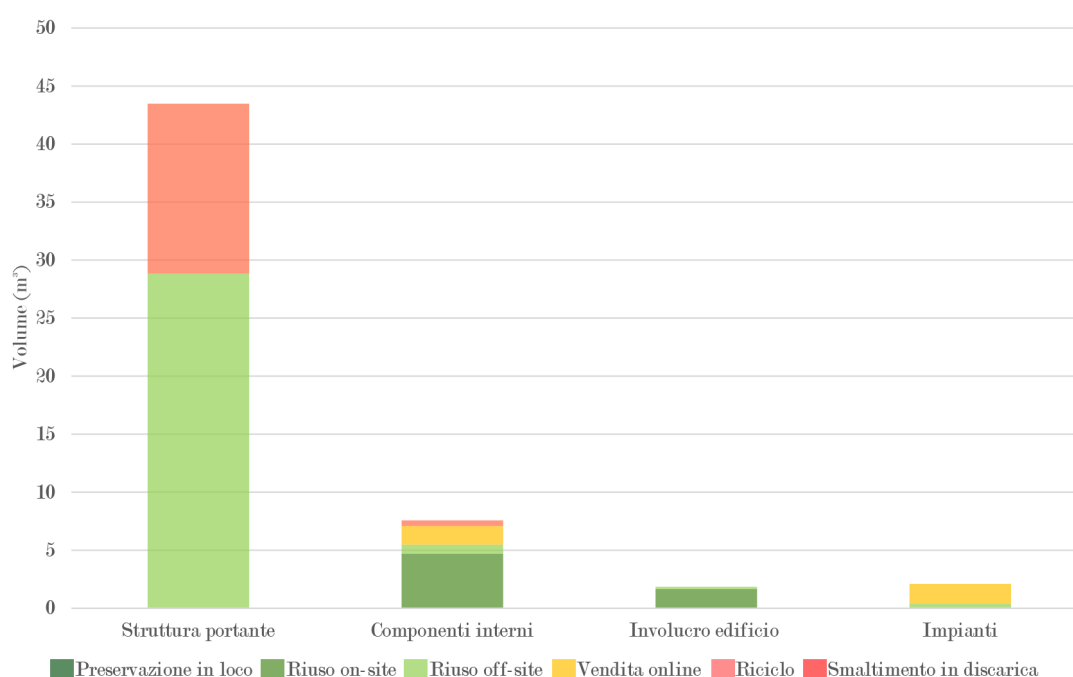


Figura 7.25: Analisi degli impieghi futuri raccomandati per ogni categoria di rifiuti da demolizione proposte dallo strumento Ecobau

Per quanto riguarda il resto dei componenti, i dati indicano che all'interno delle restanti categorie c'è solamente un minimo di percentuale destinata al riciclo (circa il 10%, corrispondente alla pavimentazione in linoleum presente negli ambienti della cucina e del bagno) mentre una quantità considerevole di componenti possono essere destinate al riutilizzo sul posto (on-site). Si tratta di poco più del 60% per i componenti interni e poco meno del 90% per l'involucro dell'edificio.

In generale, si osserva come la totalità dei componenti dell'involucro dell'edificio ha ottime probabilità di essere riutilizzata, sia sul posto che off-site, dato che si tratta prevalentemente di elementi che appaiono in buone condizioni e sono relativamente facili da smantellare.

Il grafico invece in fig. 7.25 riguarda sempre la tipologia di gestione che si ritiene possibile per ogni categoria di componenti ma dal punto di vista del volume, confermando ciò che è stato compreso dal grafico precedentemente analizzato.

Il volume maggiore di rifiuti destinati al riciclo è riscontrabile nella struttura portante, corrispondente al calcestruzzo del solaio, mentre il maggiore volume di componenti recuperati e destinati al riuso on-site si ritrova nei componenti interni.

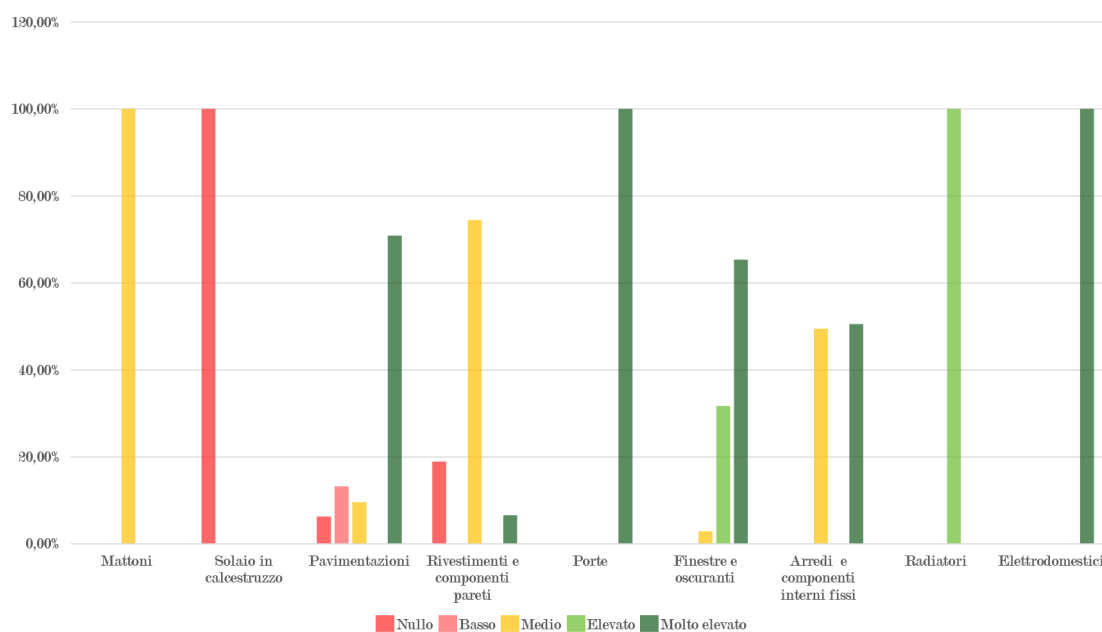


Figura 7.26: Potenziale di riuso delle varie tipologie di componenti

L'istogramma in fig. 7.26 illustra il potenziale di riuso per ogni tipologia di componente, analizzando quindi i singoli elementi piuttosto che le categorie generali proposte da Ecobau.

È evidente che elementi come porte, finestre, arredi, elementi come radiatori ed

elettrodomestici sono tra i più facilmente recuperabili e riutilizzabili. Questo risultato è attribuibile alla loro facilità di smontaggio, al buon stato di conservazione e alla loro elevata richiesta, che ne facilita la ricollocazione.

In generale, considerando l'intero volume dei rifiuti derivanti dalla demolizione dell'appartamento, oltre il 70% sarà riutilizzabile (vedi fig. 7.27).

Nello specifico, il 54,5% sarà destinato al riutilizzo off-site e l'11,48% al riutilizzo on-site.

Inoltre, quasi il 7% dei materiali verrà recuperato tramite piattaforme online, una soluzione necessaria soprattutto per gestire quantità ridotte o stock eterogenei in termini di dimensioni degli elementi.

La vendita attraverso intermediari permette di ottimizzare il processo di ricollocazione, consentendo di raggruppare i materiali con quelli provenienti da altri siti di demolizione e renderne più efficace la distribuzione.

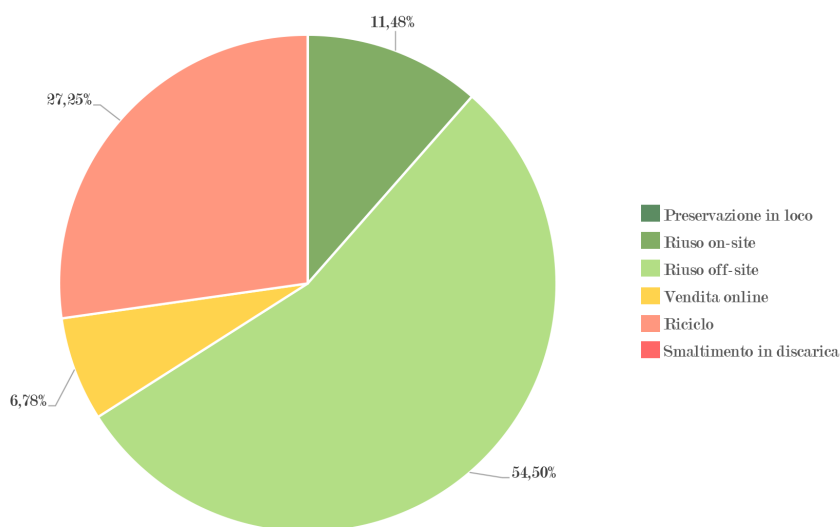


Figura 7.27: Percentuali di destinazione dei rifiuti da demolizione

# Capitolo 8

## Conclusioni

La presente tesi ha esplorato la fattibilità del riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione, con un focus particolare sul contesto svizzero, dove la pratica della demolizione è sempre più diffusa.

L'obiettivo principale è stato quello di comprendere la pratica del riuso in generale e come valutare il grado di potenziale riusabilità di un componente e determinare la possibilità di recuperare i materiali edilizi dopo la demolizione. Inoltre, si è cercato di stabilire se, attraverso criteri e analisi specifiche, fosse possibile prevedere in anticipo il potenziale di riuso dei componenti.

Dall'approfondimento è emerso che la valutazione del potenziale di riuso si basa su una serie di criteri che comprendono le caratteristiche dimensionali e funzionali dei componenti, ma anche altri fattori, come la presenza di un mercato adeguato, la facilità di smantellamento, trasporto e stoccaggio, e la sicurezza in termini di impatto ambientale e salute umana.

In questo lavoro di tesi è stato analizzato lo strumento proposto dall'associazione svizzera Ecobau, che consente di valutare in modo relativamente accurato il potenziale di riuso di ciascun componente di una costruzione, basandosi proprio su questi criteri. Questo esame è stato condotto non solo per comprendere la fattibilità del riuso, ma anche per valutare l'impatto di tali strumenti nel contesto lavorativo, identificandone i punti di forza e le eventuali criticità.

Nello specifico lo strumento si presenta come semplice e intuitivo, accessibile a diverse figure professionali senza richiedere conoscenze specifiche o corsi di formazione. Grazie ad esso è possibile non solo stimare il potenziale di recupero di un elemento, ma anche formulare una prima ipotesi sulla sua destinazione futura.

Lo strumento è stato poi applicato per studiare il potenziale di riuso di un caso concreto, ovvero quello di un appartamento destinato alla demolizione nel Canton Zurigo. Dall'analisi è emerso che, nonostante alcune inevitabili difficoltà, in particolare per quanto riguarda il riuso di elementi composti da materiali come il calcestruzzo, è possibile recuperare e riutilizzare circa il 70% del volume dei componenti esaminati. Tra questi, alcuni pavimenti, piastrelle in ceramica, finestre, persiane e porte si sono rivelati particolarmente adatti al riuso.

Risulta importante evidenziare alcune limitazioni di questa ricerca. In primo luogo, lo studio è stato condotto su un singolo caso, il che potrebbe non riflettere l'intera gamma di variabili che possono emergere in altri contesti edilizi. Inoltre, per realizzare un'analisi il più dettagliata possibile, sarebbe stato necessario accedere a dati che si sono verificati non reperibili, motivo per il quale si è dovuto procedere con alcune ipotesi.

Le ricerche future dovrebbero estendersi a un numero maggiore di casi studio per comprendere meglio le variabili coinvolte nel riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione, con particolare attenzione all'accesso a dati riguardanti eventuali ristrutturazioni, la presenza di sostanze pericolose e danni strutturali.

Dal punto di vista generale invece, per rendere il riuso una pratica sempre più diffusa e attrattiva per investitori e progettisti, e per aumentare il numero di progetti in cui viene applicato, sono necessari interventi in vari ambiti, tra cui:

1. Ricerca. È fondamentale investire nella ricerca per comprendere come riutilizzare materiali complessi, come il calcestruzzo, riducendo i costi e migliorando l'efficienza. Occorre studiare se e come questi materiali mantengono le loro proprietà strutturali e sviluppare tecniche di smantellamento efficaci, soprattutto per gli edifici più datati.

2. Consapevolezza. Comprendere i meccanismi e l'importanza del riuso può aiutare a superare le credenze che favoriscono il nuovo rispetto all'usato. Progettare edifici e costruzioni future con una visione circolare potrebbe facilitare enormemente il riuso.
3. Ottimizzazione e diffusione dei tool di analisi e gestione dei rifiuti. Strumenti come quelli di Ecobau sono spesso poco conosciuti e quindi poco utilizzati. Investire per renderli più performanti e accessibili potrebbe incentivare l'adozione del riuso.
4. Certificazioni ambientali. Il riuso dovrebbe essere integrato nelle certificazioni ambientali, non come alternativa marginale al riciclo, ma come requisito essenziale per ottenere certificazioni di alto livello.
5. Normative specializzate. È necessaria una maggiore chiarezza normativa sul tema del riuso, con regolamenti che lo incentivino attivamente.
6. Incentivi statali. I governi dovrebbero offrire incentivi per progetti che includono elementi o componenti riutilizzati, favorendo così la diffusione di questa pratica.

In conclusione, sebbene il panorama edilizio attuale sia dominato da costruzioni realizzate con tecnologie poco compatibili con il riuso, è comunque possibile ottenere una significativa percentuale di recupero concentrando l'attenzione sui componenti più facilmente separabili, come serramenti, porte, rivestimenti per pavimenti e muri, radiatori, elettrodomestici ed eventuali arredi fissi.

L'obiettivo ideale rimane quello di riuscire a riutilizzare anche la struttura portante, data l'elevata incidenza che la produzione di questi elementi ha sull'impatto ambientale, ma sono ancora necessari progressi tecnologici e un maggiore interesse da parte degli investitori. Tuttavia, il recupero e il riutilizzo di ciò che è attualmente fattibile rappresenta già una strada percorribile e significativa, poiché contribuisce a ridurre notevolmente l'impatto ambientale legato alla gestione dei rifiuti, che altrimenti finirebbero in impianti di riciclo o in discarica.

Inoltre, la capacità di prevedere il potenziale di circolarità di un edificio prima della demolizione può portare a benefici, anche economici, rilevanti.

Una corretta valutazione preliminare svolta attraverso appositi strumenti di analisi permette non solo di pianificare la demolizione ottimizzando il recupero dei materiali, ma anche di identificare più facilmente potenziali acquirenti o utilizzatori per i componenti recuperabili, consentendo di agire in anticipo.

In definitiva, il riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione emerge come una strategia fondamentale e oggi effettivamente applicabile per promuovere la sostenibilità nel settore edilizio. Sebbene non possa essere applicato a tutti i componenti e materiali, è essenziale iniziare a scegliere consapevolmente il riuso rispetto al riciclo, poiché rappresenta un passo cruciale verso la riduzione dell'impatto ambientale e il contrasto al cambiamento climatico in corso.

# Elenco delle figure

1.1	Estratto del Catalogo Europeo dei Rifiuti, Fonte: [6]. I codici che presentano inizialmente la coppia 1 7 sono proprio i codici identificativi dei rifiuti da Costruzione e Demolizione. . . . .	8
1.2	Estratto classificazione svizzera dei rifiuti da costruzione e demolizione. Si nota come analogamente al CER, i rifiuti edili riportano come cifra iniziale il 17. Fonte immagine: [7] . . . . .	9
1.3	Produzione di rifiuti da parte di attività economiche e nuclei familiari, UE, 2020. Si noti come i rifiuti derivanti dal settore delle costruzioni costituiscono più del 30% del totale dei rifiuti prodotti nell'anno 2020. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio Eurostat [8]. . . . .	10
1.4	Quantità di rifiuti edili inceneriti dal 1996 al 2019. In un periodo di tempo di ventitré anni si nota un trend in aumento dei rifiuti da CD inceneriti. Mentre nel 1996 si conta una quantità di poco più di 0,2 milioni di tonnellate, nel 2019 si giunge a 0,5 milioni di tonnellate. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio [10].	11
1.5	Quantità di rifiuti inceneriti dal 1996 al 2019 divisi per categorie. La quantità maggiore di rifiuti inceneriti è costituita dai rifiuti urbani seguiti immediatamente dopo dai rifiuti edili, che contano nell'anno 2019 una quantità di 0,5 milioni di tonnellate. Fonte immagine: elaborazione personale sulla base dello studio [10]. . . . .	12



1.6	Piramide della Gestione delle Risorse secondo la Direttiva dell'Unione Europea 2008/898/CE. . . . .	14
3.1	Patrimonio edilizio nei Cantoni. Il Cantone Zurigo risulta essere quello con la maggiore densità di volume costruito, contando oltre 600 milioni di metri cubi. Fonte immagine: [15] . . . . .	31
3.2	Edifici costruiti in Svizzera e nel Canton Zurigo secondo l'epoca di costruzione. Il grafico evidenzia che sia in Svizzera che nel Canton Zurigo la maggior parte degli edifici è stata costruita tra il 1946 e il 1980. Fonte: elaborazione personale sulla base dei dati dell'ufficio Federale di Statistica Svizzero (UST) aggiornati a dicembre 2020 [16].	32
3.3	Tipologia di materiali da costruzione in relazione alle classi d'età degli edifici. Si osserva come la muratura e il calcestruzzo (in tedesco: <i>Mauerwerk</i> e <i>Beton</i> ) sono i materiali da costruzione con la percentuale di utilizzo più elevata, rispettivamente nel periodo compreso tra il 1900 e il 1960 e tra il 1960 e il 2000. Fonte immagine: [15]. . .	33
3.4	Materiali da costruzione presenti nel panorama svizzero. L'istogramma illustra la quantità di diversi materiali da costruzione utilizzati nel contesto edilizio svizzero, sia in metri cubi che in milioni di tonnellate. Il calcestruzzo emerge come il materiale più presente, superando le 800 milioni di tonnellate. Fonte immagine: [15] . . . .	34
3.5	Mappa della Svizzera raffigurante la quantità e la posizione di tutti gli edifici demoliti fino ai nostri giorni. I dati sono stati raccolti dall'associazione Countdown2030. Fonte immagine: [18]. . . . .	36
3.6	Previsione 2005-2025 dei rifiuti da costruzione e demolizione. In particolare si suddividono i rifiuti secondo l'origine, ovvero operazioni di rinnovo, nuova costruzione o demolizione (in ordine: <i>Erneuerung, Neubau, Abbruch</i> ). Si evidenzia un aumento graduale della quantità dei rifiuti C&D nel corso di venti anni, raggiungendo una stima di 9 milioni di tonnellate nel 2025. Fonte immagine: [15]. . . . .	37

3.7	Rifiuti C&D in Svizzera nell'anno 2015 analizzati suddivisi secondo l'origine, ovvero operazioni di rinnovo, nuova costruzione o demolizione (in ordine: <i>Erneuerung, Neubau, Abbruch</i> ). Il calcestruzzo risulta essere il materiale più abbondante tra i rifiuti edili, soprattutto in relazione al processo di demolizione. Fonte immagine: [15]. . . . .	38
3.8	Volume delle demolizioni per Cantoni nell'anno 2015. Si osserva come il Canton Zurigo presenta il volume di demolizione più alto di tutti e 26 Cantoni, con un valore di quasi 1.75 milioni di metri cubi. Fonte immagine: [15]. . . . .	39
3.9	Volume delle demolizioni per il Canton Zurigo, Basilea e Soletta. Si osserva come il Canton Zurigo, nel periodo di tempo presentato (2005-2014) riporta un incremento del volume demolito di circa quattro volte. Fonte immagine: [15]. . . . .	40
3.10	Tasso di demolizione, rispetto al volume del costruito esistente, per edifici per servizi, industrie, per l'agricoltura e altro (in ordine: <i>Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft, Übrigen</i> ). Si nota come il tasso maggiore di demolizione interessi tutte le costruzioni risalenti agli anni 1920-1940, tuttavia si riscontrano anche valori elevati per gli anni 1950-1960 e 1990-2000. Fonte immagine: [15] . . . . .	41
4.1	Le tre sfere della sostenibilità, strettamente interconnesse fra di loro, ovvero quella economica, sociale ed ambientale. . . . .	47
4.2	Icona ufficiale raffigurante l'obiettivo 12: Consumo e Produzione Responsabili. Fonte immagine: [23]. . . . .	48
4.3	Tabella riportanti i simboli utilizzati dal sistema MONET 2030. Il primo simbolo rappresenta l'evoluzione auspicata, il secondo l'evoluzione osservata (in un dato periodo) e il terzo qualifica l'evoluzione osservata rispetto a quella auspicata. Fonte immagine: [25]. . . . .	49
4.4	Esempio di andamento dell'obiettivo 13 e dei suoi sotto obiettivi aggiornato all'anno 2022. Fonte immagine: [26]. . . . .	49

4.5	Rappresentazione del sistema di produzione lineare, in cui al termine della catena di produzione e utilizzo si verifica lo smaltimento del prodotto come rifiuto. . . . .	51
4.6	Rappresentazione del sistema di produzione circolare, in cui, dopo il termine della vita utile di un prodotto, si procede alla sua rigenerazione attraverso processi di manutenzione, riparazione e recupero in generale. Ciò consente di reintrodurlo in un nuovo sistema di produzione senza che diventi un rifiuto. . . . .	51
5.1	Rappresentazione 3D del processo di ottimizzazione che ha interessato le travi in acciaio dei tralicci per la progettazione del padiglione di copertura della stazione di Losanna. Fonte immagine: [37]. . . . .	58
5.2	Rappresentazione dell'Arco di Costantino riportante i diversi periodi a cui risalgono i diversi rilievi. Fonte immagine: [39]. . . . .	60
5.3	Dettagli della Casa dei Crescenzi, come le semicolonne e paraste del lato sud caratterizzate dai capitelli con laterizi risalenti ad antichi monumenti e i mattoni di recupero impiegati nell'arco ribassato del portale d'ingresso. Fonte immagini: [44]. . . . .	61
5.4	In ordine: foto della parte posteriore del portico di Ottavia, epoca augustea. Fonte immagine: [46]. L'arco di Costantino oggi. Fonte immagine: [47]. La selva di colonne della moschea di Cordova. Fonte immagine: [48]. . . . .	62
5.5	I sei strati componenti un edificio descritti da Stewart Brand nel libro "How Buildings Learn: What Happens After They're Built. Elaborazione personale sulla base del Manifesto di Openbuilding del 2021 [51]. . . . .	65
5.6	Schema illustrante le tipologie di demolizione ordinate in base alla percentuale crescente di separazione dei rifiuti da costruzione e demolizione, corrispondente quindi alla percentuale di riuso possibile. Elaborazione personale sulla base di: [32]. . . . .	67

5.7	Decostruzione selettiva non strutturale dell'edificio per uffici Orion a Zurigo. Da destra: rimozione manuale del rivestimento in pietra, rimozione delle finestre tramite ventose, rimozione della lamiera e dell'isolamento posto in facciata. Fonte immagini: [49]. . . . .	70
5.8	Decostruzione selettiva strutturale, da destra: un operatore taglia tramite apposita sega una soletta in calcestruzzo, operazione di rimozione della soletta tramite gru, elementi portanti di una pista di pattinaggio decostruita. Fonte immagini: [49]. . . . .	71
5.9	Esempio di parete interna costruita secondo il sistema Drystack. Dall'immagine è possibile notare l'elemento di connessione fra le file di laterizi in poliammide. Fonte immagine: [56]. . . . .	74
5.10	Kopfbau Halle 118. Fonte immagini: [62] . . . . .	83
5.11	Zero Waste - Umbau TRANSA. Fonte immagini: [63] . . . . .	85
5.12	Grande Halle. Fonte immagini: [64] . . . . .	87
5.13	Häxenhüsli, Andreas Wherli. Fonte immagini: [65] . . . . .	89
5.14	KREIS-Haus. Fonte immagini: [66] . . . . .	91
5.15	Ningbo Historic Museum. Fonte immagini: Domusweb, Archilovers	93
5.16	Karstadt Re-Parked. Fonte: [68] . . . . .	95
5.17	Resource Rows. Fonte immagini: [69] . . . . .	97
5.18	Upcycle Studios. Fonte immagini: [71] . . . . .	99
5.19	The Swan. Fonte immagini: [73] . . . . .	101
6.1	Criteri influenti sulla valutazione del potenziale di riuso di un componente edilizio o di un materiale. Fonte: elaborazione personale sulla base del documento [36] . . . . .	108

6.2	Nella tabella in figura, elaborata da Wrap [76], sono riportati i materiali e i componenti di riuso più richiesti nel settore edilizio, insieme ai dati relativi al costo (incluso rimozione, estrazione e manutenzione) e alla disponibilità. Ad esempio, i mattoni sono tra i prodotti più disponibili e, se riutilizzati correttamente, comportano una neutralità del costo ( simbolo £0) [76]. Le strutture in acciaio, sebbene meno disponibili rispetto ai mattoni, offrono un significativo risparmio economico quando riutilizzate. Al contrario, i complementi di arredo, pur essendo molto disponibili e potenzialmente economici da riutilizzare, vengono raramente recuperati e tendono a essere riciclati o smaltiti in discarica [76]. . . . .	112
6.3	Modello consigliato per l’inventario di elementi costruttivi. Fonte: [6]	119
6.4	Modello consigliato per le raccomandazioni sulle gestioni dei rifiuti. Fonte: [6] . . . . .	119
6.5	La piattaforma online Oogstkaart ( <i>Harvestmap</i> ). Fonte: [81] . . . .	121
6.6	La piattaforma online Rotor. Fonte immagine: [84] . . . . .	122
6.7	La piattaforma online Opalis. Fonte: [85] . . . . .	123
7.1	Planimetria fuori scala dell’area urbana. In rosso sono evidenziati gli edifici per i quali è prevista la demolizione, mentre con una gradazione più scura è messo in evidenza l’edificio oggetto del caso studio. Fonte immagine: elaborazione personale basata sul catasto del Canton Zurigo [88]. . . . .	126
7.2	Fotografia del modello in gesso rappresentante il nuovo progetto per l’area Schindler. Punto di vista dal lato nord. Fonte: [89] . . . . .	127
7.3	L’edificio sito in Schulstrasse 27, oggetto del caso studio. . . . .	127
7.4	La demolizione dell’edificio oggetto del caso studio. . . . .	128
7.5	Estratto del piano di zonizzazione del 2002 della città di Schlieren fuori scala. Come si può notare è incluso nell’area residenziale W4. Fonte: [91] . . . . .	130

7.6	Estratto della carta degli insediamenti e del paesaggio della regione Limmattal. Fuori scala. Fonte: [92] . . . . .	131
7.7	Estratto della carta del patrimonio edilizio del Canton Zurigo suddiviso per anno di costruzione. L'edificio oggetto di analisi risale al periodo di costruzione 1926-1950, più precisamente all'anno 1949. Fonte: [88] . . . . .	132
7.8	Estratto della planimetria originale dell'appartamento situato al terzo piano dell'edificio oggetto del caso studio. Fonte: Agenzia immobiliare Schaeppi Grundstücke AG . . . . .	134
7.9	Immagini acquisite durante la demolizione dell'edificio in Schulstrasse 27, Schlieren. Si può notare come il solaio sia in calcestruzzo e come nelle pareti non sia presente nessun tipo di isolamento ma solamente mattoni . . . . .	136
7.10	Planimetria dell'appartamento oggetto di studio, fuori scala . . . . .	137
7.11	Sezione AA dell'edificio sito in Schulstrasse 27, fuori scala . . . . .	138
7.12	Sezione AA di dettaglio . . . . .	139
7.13	In ordine, dall'alto a sinistra fino in basso a destra: cucina, bagno, corridoio, soggiorno, camera principale e una delle camere secondarie	141
7.14	Colori associati alla destinazione del componente. Fonte: elaborazione personale . . . . .	145
7.15	Finestra a tre ante della camera da letto più grande . . . . .	147
7.16	Dall'alto al basso: laminato tipo 1 e laminato tipo 2 . . . . .	148
7.17	Esempio di porta interna in legno verniciato di bianco . . . . .	149
7.18	Analisi del potenziale di riuso Ecobau, prima metà del primo foglio Excel. . . . .	151
7.19	Analisi del potenziale di riuso Ecobau, seconda metà del primo foglio Excel. . . . .	152
7.20	Analisi del potenziale di riuso Ecobau, prima metà del secondo foglio Excel. . . . .	153

7.21	Analisi del potenziale di riuso Ecobau, seconda metà del secondo foglio Excel. . . . .	154
7.22	Analisi del potenziale di riuso dei rifiuti da demolizione in base alle categorie proposte dallo strumento Ecobau . . . . .	155
7.23	Distribuzione percentuale del potenziale di riuso dei rifiuti da demolizione suddivisi in base alle categorie proposte dallo strumento Ecobau . . . . .	156
7.24	Distribuzione percentuale della tipologia di impiego futuro raccomandato . . . . .	157
7.25	Analisi degli impieghi futuri raccomandati per ogni categoria di rifiuti da demolizione proposte dallo strumento Ecobau . . . . .	158
7.26	Potenziale di riuso delle varie tipologie di componenti . . . . .	159
7.27	Percentuali di destinazione dei rifiuti da demolizione . . . . .	160

# Elenco delle tabelle

4.1	Le R-strategies suddivise per macroaree. Fonte immagine: elaborazione personale basata sullo studio [30] . . . . .	52
5.1	Comparazione fra un'operazione di demolizione e di decostruzione. La seconda arriva a costare quasi il doppio della prima in termini monetari e più del doppio in tempo di persone impiegate nel processo e nelle tempistiche. Fonte dati: [53]. . . . .	68
6.1	Confronto dei costi tra i materiali di recupero più richiesti e i loro equivalenti nuovi. Fonte: rielaborazione personale sulla base del documento [76] . . . . .	110
6.2	Nella tabella sono riportate le distanze massime, riportate in chilometri, che un materiale di riuso può percorrere su strada prima che il suo trasporto generi un impatto maggiore di quello generato dalla creazione di un nuovo elemento. Fonte: rielaborazione personale eseguita sulla base della tabella pubblicata nel documento [76] . . .	114
7.1	Le varie categorie e sottocategorie che è possibile scegliere durante l'uso del tool Ecobau per classificare i componenti . . . . .	143



# Ringraziamenti

Desidero innanzitutto esprimere la mia sincera gratitudine alla mia relatrice, la Professoressa Elena Piera Montacchini, e alla mia correlatrice, la Professoressa Silvia Tedesco.

Il loro supporto esperto e i loro preziosi suggerimenti sono stati fondamentali nella realizzazione di questo lavoro.

Un sincero ringraziamento va alla mia famiglia, ai miei genitori e a mia sorella Giulia. Mi avete donato ciò che c'è di più prezioso: amore incondizionato, sostegno e l'opportunità di seguire la mia strada.

Grazie alle mie fantastiche amiche, che hanno saputo farmi sentire leggera anche nei momenti più pesanti.

Infine, grazie ad una persona speciale, Marco, che da anni è al mio fianco, supportandomi e spingendomi sempre a dare il massimo, affiancando ogni mia scelta, sempre con occhi pieni d'amore.

# Bibliografia

- [1] *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva.* Commissione europea, Direzione generale dell'Ambiente, mar. 2020.
- [2] ISWA International Solid Waste Association. «ISWA Key Issue Paper on Waste Prevention, Waste Minimization and Resource Management». In: feb. 2013.
- [3] *Direttiva 75/442/CEE.* Comunità Economica Europea, lug. 1975. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:31975L0442>.
- [4] *Direttiva 2008/98/CE.* Parlamento Europeo, nov. 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%5C%3A32008L0098>.
- [5] *Legge federale sulla Protezione dell'Ambiente (LPAmb).* Confederazione Svizzera, gen. 1985. URL: [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1984/1122\\_1122\\_1122/it](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1984/1122_1122_1122/it).
- [6] *Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings.* European Commission, mag. 2018.
- [7] Ufficio federale dell'ambiente UFAM. *Classificazione dei rifiuti edili (esclusi i rifiuti di legno e i rifiuti metallici) e dei rifiuti prodotti dal trattamento di rifiuti edili.*

- [8] Eurostat. *Waste Statistics*. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics#Total\\_waste\\_generation](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation).
- [9] *Raw materials, waste and the circular economy*. Federal Office for the Environment FOEN, nov. 2018.
- [10] Bundesamt für Umwelt BAFU. *Indikator Abfall*.
- [11] *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol*. European Commission, set. 2016.
- [12] *Ordinanza sulla Prevenzione e lo Smaltimento dei Rifiuti (OPSR)*. Confederazione Svizzera, gen. 2016. URL: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/it>.
- [13] *SIA 118/430 2023*. Società Svizzera degli ingegneri e degli architetti, ago. 2023.
- [14] Luiza Maria Maniera. *Il settore edile costituisce la base dell'economia svizzera*. Gen. 2002. URL: <https://baumeister.swiss/it/il-settore-edile-constituisce-la-base-delleconomia-svizzera/>.
- [15] Wüst & Partner. *Bauabfaelle in der Schweiz - Hochbau Studie 2015*. Ufficio federale di statistica UST. Set. 2015.
- [16] Ufficio federale di statistica UST. *Cataloghi e banche dati*. URL: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/it/home/statistiche/costruzioni-abitazioni.html>.
- [17] M. Zerboni. «Svizzera, un paese di demolitori (alla faccia dell'architettura circolare)». In: *Il Giornale dell'Architettura* (apr. 2023).
- [18] *Atlante delle demolizioni*. URL: <https://www.abriss-atlas.ch>.
- [19] Ufficio federale della cultura. *Strategia sulla cultura della costruzione*. 2020.
- [20] Kenneth E. Boulding. *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. 1966.
- [21] *Our Common Future*. Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo, ott. 1987.

- [22] *Risoluzione adottata dall'Assemblea Generale il 25 settembre 2015. 70/1 Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.* Organizzazione delle Nazioni Unite, ott. 2015.
- [23] *Centro Regionale di Informazione delle Nazioni Unite: Agenda 2030.* Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo, ott. 1987.
- [24] Ufficio Federale di Statistica UST. *MONET 2030: Principi dello sviluppo sostenibile.* Mag. 2016.
- [25] Ufficio Federale di Statistica UST. *MONET 2030: Sintesi degli indicatori.* Mag. 2016.
- [26] *Allegato statistico al rapporto nazionale della Svizzera 2022.* Ufficio federale di statistica UST, 2022.
- [27] *Ellen MacArthur Foundation.* URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>.
- [28] Parlamento Europeo. *Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi.* Mag. 2023.
- [29] Segretariato generale Commissione europea. *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare.* Dic. 2015.
- [30] W. Irrek J.Mast F. von Unruh. *R-strategies as guidelines for the Circular Economy.* Mar. 2022.
- [31] Matériuum Salza. *Construire le réemploi, état des lieux et perspectives: une feuille de route.* Mag. 2020.
- [32] C.Gambato et al. *Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti.* Lug. 2022.
- [33] Isabel Flynn. *Bauteile wiederverwenden statt wegwerfen.* Dic. 2019.

- [34] Parlamento Europeo. *Direttiva (UE) 2018/851 del Parlamento e del Consiglio*. Mag. 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851>.
- [35] G. Hammond et al. *The Inventory of Carbon Energy (ICE)*. University of Bath, 2006.
- [36] M. Deweerdt e M. Mertens. *A guide for identifying the reuse potential of construction products*. Mar. 2020.
- [37] Jan Brütting, Catherine De Wolf e Corentin Fivet. «The reuse of load-bearing components». In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 225.1 (gen. 2019), p. 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/225/1/012025. URL: <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012025>.
- [38] Wikipedia. *Reimpiego*. 2022. URL: <http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Reimpiego&oldid=128079094>.
- [39] Marsyas. *Constantine Architecture Datation, CC BY-SA 2.5*. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5968722>.
- [40] Wikipedia. *Portico di Ottavia*. 2024. URL: [http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Portico\\_di\\_Ottavia&oldid=138301003](http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Portico_di_Ottavia&oldid=138301003).
- [41] sito turistico ufficiale Roma. *Casa dei Crescenzi*. URL: <https://www.turismoroma.it/it/luoghi/casa-dei-crescenzi>.
- [42] Elisabetta Berti Fabrizio Alessio Angeli. *La Casa dei Crescenzi*. Medioevo.Roma. Set. 2007.
- [43] Emanuela Montelli. *Impiego dei mattoni nella Casa dei Crescenzi in Roma*. 2009.
- [44] Roma segreta. *Casa dei Crescenzi*. URL: <https://www.romasegreta.it/ripa/casa-dei-crescenzi.html>.
- [45] Wikipedia. *Grande moschea di Cordova*. 2024. URL: [http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Grande\\_moschea\\_di\\_Cordova&oldid=140269748](http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Grande_moschea_di_Cordova&oldid=140269748).

- 
- [46] MM. *Opera propria*, CC BY-SA 3.0. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=117586282>.
- [47] NikonZ7II. *Opera propria*, CC BY-SA 4.0. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=117227618>.
- [48] Berthold Werner. *Opera propria*, CC BY-SA 3.0. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=47616461>.
- [49] Célia Küpfer e Corentin Fivet. *Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion: Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche*. Lausanne, Switzerland: EPFL, 2021, 160 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5131243>. URL: <http://infoscience.epfl.ch/record/288679>.
- [50] Stewart Brand. *How buildings learn*. Viking, New York, 1994.
- [51] Openbuilding.co. *MANIFESTO OPENBUILDING.CO (2021)*. URL: <https://www.openbuilding.co/manifesto>.
- [52] Gaetano Bertino et al. «Fundamentals of Building Deconstruction as a Circular Economy Strategy for the Reuse of Construction Materials». In: *Applied Sciences* 11.3 (2021). ISSN: 2076-3417. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/939>.
- [53] M. Brown e M. Walton. *C&D Materials markets: Identifying opportunities regionally & locally*. Delta Institute, lug. 2019.
- [54] Delta institute. *Deconstruction & Building material reuse: A tool for local governments & economic development practitioners*. Mag. 2018.
- [55] Nrep. *Resource Rows*. URL: <https://nrep.com/project/resource-rows/>.
- [56] EUmies Awards. *The Resource Rows*. URL: <https://www.miesarch.com/work/4305>.
- [57] M. Sc Barbora Starovicova Prof. Dr. Nadine Gurtner. *Wiederverwendung in der schweizerischen Bauindustrie. Potentiale, Herausforderungen und Ansatzpunkte*. Set. 2023.

- [58] Ecobau Minergie. *Minergie-Eco; Catalogo dei requisiti prodotto complementare ECO*. Mar. 2024.
- [59] Ecobau. *Guida all'analisi del potenziale dell'edilizia circolare*. 2023.
- [60] U.S. Green Building Council. *LEED v4.1 Building Design and Construction*. Lug. 2023.
- [61] BREEAM. *Building LCA – Options appraisal including reuse/recycling of existing construction products on site - KBCN1174*. URL: <https://kb.breeam.com/wp-content/plugins/breeamkb-pdf/pdf/?c=980>.
- [62] Baubüro in situ. *Kopfbau Halle 118, Lagerplatz Winterthur*. URL: <https://www.insitu.ch/projekte/196-k118-kopfbau-halle-118f>.
- [63] Baubüro in situ. *ZERO Waste - Umbau TRANSA*. URL: <https://www.insitu.ch/projekte/328-zero-waste-umbau-transa>.
- [64] Encore Heureux Architectes. *Grande Halle de colombelles. Réhabilitation d'une halle industrielle en tiers-lieu*. Ott. 2019.
- [65] Müller Architekturbüro Weiterbauen. *Das Häxenhüsli muss weg - soll es erhalten werden? Infobroschüre*. URL: <https://www.weiter-bauen.ch/h%C3%A4xenh%C3%BCsli>.
- [66] ZHAW Life Sciences und Facility Management. *Das KREIS-Haus*. URL: <https://www.zhaw.ch/de/lfsf/institute-zentren/iunr/oekotechnologien-energiesysteme/oekotechnologie/abwasser/kreis-haus/>.
- [67] Cirkla. *KREIS-Haus*. URL: <https://cirkla.ch/it/home/projektliste/projektetails/?topic=7>.
- [68] Lendager. *Karstadt Re-Parked*. URL: <https://lendager.com/project/karstadt/>.
- [69] Lendager. *Resource Rows*. URL: <https://lendager.com/project/resource-rows/>.
- [70] Stonecycling. *Drystack: Making Demountable Facades with StoneCycling*. URL: <https://www.stonecycling.com/news/drystack-demountable-facades/>.

- 
- [71] Lendager. *Upcycle Studios*. URL: <https://lendager.com/project/upcycle-studios/>.
- [72] Nrep. *Upcycle Studios*. URL: <https://nrep.com/project/upcycle-studios/>.
- [73] Lendager. *The Swan*. URL: <https://lendager.com/project/the-swan/>.
- [74] BAMB Buildings as Materials Banks. *Reuse Potential*. URL: <https://www.bamb2020.eu/topics/circular-built-environment/common-language/reuse-potential/#:~:text=Definition,or%20for%20a%20whole%20building>.
- [75] Lukman Akanbi et al. «Reusability analytics tool for end-of-life assessment of building materials in a circular economy». In: *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development* (ott. 2018).
- [76] Waste e Resources Action Programme. *Reclaimed Building Products Guide*.
- [77] ARUP. *Evaluating re-use potential: Material profiles and vision for project workflow*. 2021.
- [78] *Werflink*. URL: <https://www.floow2.community/werflink.html>.
- [79] Zero Waste Scotland. *Site Waste Management Plan*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=98cf25CXG6s&list=PLxKoZsblPUTGEYDZiUSIeBhOdOPvGhTq9&index=7>.
- [80] *NewHorizon Urban Mining*. URL: <https://newhorizon.nl>.
- [81] *Oogstkaart*. URL: <https://www.oogstkaart.nl>.
- [82] *Use again*. URL: <https://www.useagain.ch/it>.
- [83] *Bauteilladen*. URL: <https://bauteilladen.ch/>.
- [84] *RotorDC*. URL: <https://rotordc.com/>.
- [85] *Opalis*. URL: <https://opalis.eu/en>.
- [86] *Restado*. URL: <https://restado.de>.
- [87] Stadt Schlieren. *Privater Gestaltungsplan «Schindler-Areal»*. Gen. 2020.



- [88] Kanton Zürich. *GIS-Browser*. URL: <https://maps.zh.ch/>.
- [89] Schindler Pensionskasse. *Neugestaltung des Schindler-Areals in Schlieren*.
- [90] L.Elser. «Schindler treibt 92-Millionen-Bauprojekt voran – lange haben die beiden markanten blauen Hochhäuser nicht mehr zu leben». In: *Limmattaler Zeitung* (ago. 2021).
- [91] Stadt Schlieren. *Zonenplan*. 2002.
- [92] Regionaler Richtplan Limmattal. *Karte 1:25'000 Siedlung und Landschaft*. 2017.
- [93] Stadt Zürich. *Gebäudealter (OGD) (kantonaler Datensatz)*. URL: <https://www.stadt-zuerich.ch/geodaten/download/415>.
- [94] Baunetz Wissen. *Nachkriegsbauten der 50er Jahre*. URL: <https://www.baunetzwissen.de/altbau/fachwissen/baualterstufen/nachkriegsbauten-der-50er-jahre-148204>.