

SUPSI

Istituto sostenibilità applicata all'ambiente costruito

Campus Mendrisio
Via Flora Ruchat-Roncati 15, 6850 Mendrisio
T +41 (0)58 666 63 51
isaac@supsi.ch, www.supsi.ch/isaac
N. IVA: CHE-108.955.570 IVA

OGGETTO	Progetto DeCo
TITOLO	Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti.
FASE	Rapporto
AUTORI	<i>Carlo Gambato</i> <i>Docente ricercatore SUPSI ISAAC</i> <i>Stefano Zerbi</i> <i>Professore SUPSI ISAAC</i> <i>Cristina Mosca</i> <i>Ricercatrice SUPSI IMC</i> <i>Isabella Fibioli</i> <i>Assistente SUPSI</i>
COMMITTENTE	<i>Repubblica e Cantone Ticino</i> <i>Ufficio dei rifiuti e dei siti inquinati</i>
SOSTENITORI	<i>Ufficio federale dell'ambiente</i> <i>Cantone Basilea</i> <i>Cantone Berna</i> <i>Canton Ginevra</i> <i>Canton Turgovia</i> <i>Canton Uri</i> <i>Canton Vaud</i> <i>Canton Vallese</i> <i>Canton Zugo</i> <i>Canton Zurigo</i> <i>Società Svizzera Impresari Costruttori – Sezione Ticino</i>
LUOGO E DATA	<i>Campus Mendrisio</i> <i>Luglio 2022- rev. Settembre 2022 – rev. Novembre 2022</i>

ABSTRACT (IT)	4
ABSTRACT (FR)	6
ABSTRACT (DE)	8
1 INTRODUZIONE	10
2 GLOSSARIO	11
3 CONTESTO	13
3.1 Svizzera.....	13
3.2 Ticino.....	16
4 METODOLOGIA	17
5 QUADRO NORMATIVO	19
5.1 Prodotti da costruzione	19
5.2 Gestione dei rifiuti	20
6 M1 Stato attuale dei sistemi costruttivi	22
ABSTRACT (IT)	22
ABSTRACT (FR).....	23
ABSTRACT (DE).....	24
6.1 Tecnologie di isolamento termico e acustico degli edifici	25
6.2 Gli isolanti termici	30
6.3 Ditte produttrici in Svizzera	43
6.4 Ostacoli potenziali al riuso/riciclo	45
6.5 Filiere di fine vita	53
7 M2 Casi studio e stato della ricerca	56
ABSTRACT (IT)	56
ABSTRACT (FR).....	57
ABSTRACT (DE).....	58
7.1 Introduzione.....	59
7.2 Decostruzione degli edifici	59
7.3 Materiali isolanti: separazione e riciclaggio.....	69
7.4 Approcci nei diversi paesi	78
8 M3 Decostruzione pratica	85
ABSTRACT (IT)	85
ABSTRACT (FR).....	86
ABSTRACT (DE).....	87
8.1 Introduzione.....	88
8.2 Aziende di demolizione, riciclaggio, bonifica.....	88
8.3 Ritiro materiali da produttori	95
8.4 Caso studio di demolizione	97
8.5 Tecniche e strumenti per la decostruzione	102

9	M4 Linee guida per la decostruzione	114
	ABSTRACT (IT)	114
	ABSTRACT (FR)	115
	ABSTRACT (DE)	116
9.1	Modo d'uso	117
9.2	Catalogo degli elementi costruttivi per la decostruzione	119
9.3	Schede di decostruzione	120
9.4	Schede di fine vita	124
9.5	Potenzialità di riciclo/riuso dei materiali isolanti	126
10	M5 Analisi dei costi di decostruzione	139
	ABSTRACT (IT)	139
	ABSTRACT (FR)	140
	ABSTRACT (DE)	141
10.1	Introduzione	142
10.2	Metodologia	142
10.3	Risultati	143
10.4	Volumi di inerti conferiti in discarica	146
10.5	Assunzioni di calcolo	149
10.6	Conclusioni	150
11	Conclusioni	151
12	Prossimi passi	152

ALLEGATO 1 Schede di decostruzione

ALLEGATO 2 Schede di fine vita

ALLEGATO 3 Analisi dei costi – Casi modello e stratigrafie

ALLEGATO 4 Analisi dei costi – Stima materiali e costi *[omissis]*

ABSTRACT (IT)

A partire dagli anni '80-'90 del Novecento, in Svizzera, si è assistito a un progressivo mutamento dei pacchetti costruttivi verso soluzioni più complesse caratterizzati dall'accoppiamento di materiali di diverse categorie e con la presenza di isolamenti termici e acustici. Se questi elementi costruttivi verranno demoliti in modo non sistematico e distruttivo, utilizzando le tecniche attualmente impiegate, vi è la concreta possibilità che si verificheranno gravi problemi di separazione e smaltimento dei rifiuti. Infatti, in seguito alla crisi petrolifera di fine anni '70 del XX secolo, è aumentato l'impiego dei materiali isolanti negli edifici e di elementi impiantistici annegati nelle strutture, la cui presenza aggrava le difficoltà di smaltimento dei rifiuti da demolizione. La questione richiede una risoluzione tempestiva. Infatti, nel contesto svizzero è previsto per i prossimi anni un incremento costante della demolizione di edifici di recente. Ciò comporterà una maggiore difficoltà di gestione delle operazioni di demolizione e un aumento di rifiuti edili caratterizzati da un minore tasso di riciclo, implicando miscele tra diversi materiali che richiedono smaltimenti differenziati non sempre possibili. Vi è inoltre un concreto pericolo per l'ambiente e per la salute dovuto alla probabile dispersione di residui di questi materiali.

In risposta all'emergente problema il progetto *DeCO – Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti* è finalizzato allo sviluppo di procedure standardizzate (linee guida) per la decostruzione e lo smontaggio degli edifici per impostare nel migliore dei modi la futura gestione dei rifiuti da cantiere e come primo passo per aumentare il tasso di riciclo/riuso dei materiali costruttivi al fine di perseguire l'obiettivo di un'economia circolare nel settore delle costruzioni. Il progetto si articola in moduli tematici e due fasi. La prima fase comprende gli studi effettuati al fine di ottenere lo stato attuale dei sistemi costruttivi impiegati per la costruzione degli edifici a partire dagli anni '80-'90 del XX secolo, il quadro normativo e lo stato attuale della ricerca e delle potenzialità di riciclaggio. Da questa analisi sono sviluppate le Linee guida di decostruzione, corredate da una stima dei costi legati alla decostruzione degli edifici.

Si riporta un'analisi sullo stato dell'arte dei sistemi costruttivi impiegati negli edifici svizzeri, focalizzandosi sugli isolanti termici e acustici. In particolare, sono fornite indicazioni su come riconoscere i materiali isolanti utilizzati, in che combinazioni questi si possono trovare nei pacchetti costruttivi, quali metodi per il loro smaltimento sono ad oggi consentiti, nonché le potenzialità di riciclaggio/riuso in relazione alle condizioni del materiale a fine vita. In secondo luogo, sono descritti alcuni casi studio e lo stato della ricerca in merito al tema della decostruzione edifici, ai metodi per separare e riciclare i materiali isolanti e altre nuove esperienze di valorizzazione dei rifiuti. In seguito, sono state eseguite interviste alle principali aziende ticinesi che si occupano di riciclaggio, demolizione, e bonifiche in edilizia, con lo scopo di verificare fattibilità, potenzialità e criticità della metodologia proposta attraverso il progetto DeCO. In aggiunta, vengono presentate alcune indicazioni sulla decostruzione pratica e l'analisi di un caso studio di demolizione rappresentativo delle attuali attività nel territorio ticinese. Infine, sono state create le linee guida per la decostruzione, attraverso le schede di decostruzione degli elementi costruttivi e le schede di fine vita dei materiali. Le schede di decostruzione contengono le raccomandazioni e consigli in merito all'approccio e alle sequenze di lavorazione da eseguire per mettere in pratica la decostruzione di ciascun elemento costruttivo ed ottenere materiali il più possibile omogenei aumentando l'efficienza del riciclaggio e di un potenziale riuso ed evitando dispersioni in ambiente. Invece le schede di fine vita dei materiali isolanti ne considerano l'attitudine al riciclo, al reimpiego, allo smontaggio selettivo o alla sua eliminazione senza pericoli per la salute e l'ambiente. Sono allegati al rapporto le schede di decostruzione dei principali elementi costruttivi utilizzati negli edifici di recente costruzione e le schede di fine vita dei materiali isolati maggiormente impiegati in Svizzera.

L'obiettivo delle linee guida proposte dal progetto DeCO è diminuire l'apporto in discarica di rifiuti edili come materiali non puliti, non riciclabili o non riusabili. Particolare attenzione è posta al tema della presenza di isolamenti termici / acustici. La base per l'utilizzo di materiali isolanti in processi di riciclo e riuso è l'attuazione di una decostruzione non distruttiva, che non inquina con sostanze secondarie il

materiale stesso. Emerge dunque la necessità di implementare pratiche di decostruzione che consentano uno smontaggio sicuro e mirato dei materiali da costruzione. Il progetto DeCo si pone proprio come soluzione contenente nozioni e proposte utili direttamente applicabili per una corretta decostruzione del patrimonio edilizio. Gli strumenti forniti dal rapporto sono fondamentali per la progressiva applicazione dei concetti di economia circolare all'intero settore delle costruzioni.

Il rapporto si conclude con un'analisi dei costi generati dall'applicazione delle linee per la decostruzione degli edifici. Una demolizione degli edifici recenti isolati tramite decostruzione potrebbe costare mediamente ca. il 60% in più rispetto ad una demolizione convenzionale secondo lo stato dell'arte attuale. Il maggior costo è dovuto prevalentemente alla necessità di dover impiegare più manodopera e opere provvisorie. D'altra parte si è stimato che una decostruzione sistematica potrebbe portare ad un calo dei costi di conferimento in discarica (inerti) medi di ca. il 23% e dei volumi di ca. il 22% fino al 93% dei possibili costi di discarica e di ca. il 96% dei volumi conferiti, se si ipotizza un riciclo completo del materiale inerte. Inoltre, al momento non sono stati considerati i potenziali ricavi ottenibili dalla vendita di componenti riutilizzabili. Il capitolo evidenzia solo come i maggiori costi possano essere compensati dalla possibilità di ottenere rifiuti più puliti e separati, ovvero con alte possibilità di recupero.

La decostruzione degli edifici è una condizione necessaria ma non sufficiente per impostare una economia circolare in edilizia. Approfondendo i successivi passi per una economia circolare degli edifici sarà quindi possibile completare e studiare i costi e i ricavi considerando le possibili filiere di riciclaggio e riuso dei materiali.

ABSTRACT (FR)

Depuis les années 1980-1990, on assiste en Suisse à une évolution progressive des systèmes de construction vers des solutions plus complexes caractérisées par la combinaison de matériaux de différentes catégories et par la présence d'une isolation thermique et acoustique. Si ces éléments de construction seront démolis de manière non systématique et destructive, en utilisant les techniques actuellement employées, il est fort possible que de graves problèmes se poseront en matière de séparation et d'élimination des déchets. Suite à la crise pétrolière de la fin des années 1970, on a observé une augmentation de l'utilisation de matériaux d'isolation dans les bâtiments et de composants d'installations intégrés dans les structures, dont la présence aggrave les difficultés d'élimination des déchets de démolition. Cette question nécessite une résolution rapide. En effet, dans le contexte suisse, une augmentation constante de la démolition de bâtiments récents est attendue dans les années à venir. Cela entraînera de plus grandes difficultés dans la gestion des opérations de démolition et une augmentation des déchets de construction avec un taux de recyclage plus faible, impliquant des mélanges entre différents matériaux qui nécessitent une élimination séparée qui n'est pas toujours possible. Il existe également un réel danger pour l'environnement et la santé en raison de la dispersion probable des résidus de ces matériaux.

En réponse à ce problème émergent, le projet DeCO - *Lignes directrices pour la déconstruction des bâtiments récents* vise à développer des procédures standardisées (lignes directrices) pour la déconstruction et le démontage des bâtiments afin de définir la meilleure voie possible pour la gestion future des déchets de construction et, comme première étape, augmenter le taux de recyclage/réemploi des matériaux de construction afin de poursuivre l'objectif d'une économie circulaire dans le secteur de la construction. Le projet est articulé en modules thématiques et en deux phases. La première phase comprend les études réalisées afin d'obtenir l'état actuel des systèmes de construction utilisés pour la construction de bâtiments depuis les années 1980-1990, le cadre réglementaire et l'état actuel de la recherche et des possibilités de recyclage. À partir de cette analyse, les lignes directrices de déconstruction sont élaborées, accompagnées d'une estimation des coûts relatifs à la déconstruction des bâtiments.

Une analyse de l'état de l'art des systèmes de construction utilisés dans les bâtiments suisses est présentée, en se focalisant sur l'isolation thermique et acoustique. En particulier, des informations sont fournies sur la manière de reconnaître les matériaux d'isolation utilisés, sur les combinaisons dans lesquelles ils peuvent être trouvés dans les systèmes de construction, sur les méthodes d'élimination actuellement autorisées, ainsi que sur le potentiel de recyclage/réemploi en fonction de l'état du matériau en fin de vie. Deuxièmement, des études de cas et l'état de la recherche sont présentés sur le thème de la déconstruction des bâtiments, des méthodes de séparation et de recyclage des matériaux d'isolation et d'autres nouvelles expériences en matière de valorisation des déchets. Ensuite, des entretiens ont été menés avec les principales entreprises tessinoises impliquées dans le recyclage, la démolition et l'assainissement, dans le but de vérifier la faisabilité, le potentiel et les criticités de la méthodologie proposée par le projet DeCO. En outre, des indications sur la déconstruction pratique et l'analyse d'un cas de démolition représentatif des activités actuelles au Tessin sont présentées. Enfin, des lignes directrices pour la déconstruction sont établies à travers les fiches de déconstruction des éléments constructifs et les fiches de fin de vie des matériaux. Les fiches de déconstruction contiennent des recommandations et des conseils sur l'approche et les séquences de traitement à appliquer pour mettre en pratique la déconstruction de chaque élément constructif et obtenir des matériaux le plus homogènes possible, en augmentant l'efficacité du recyclage et du potentiel réemploi et en évitant la dispersion dans l'environnement. Par contre, les fiches de fin de vie des matériaux d'isolation prennent en compte leur aptitude au recyclage, au réemploi, au démontage sélectif ou à l'élimination sans mettre en danger la santé et l'environnement. Les fiches de déconstruction des principaux éléments de construction utilisés dans les bâtiments récents et les fiches de fin de vie des matériaux d'isolation les plus utilisés en Suisse sont jointes au rapport.

L'objectif des lignes directrices proposées par le projet DeCO est de réduire la mise en décharge des déchets de construction en tant que matériaux impurs, non recyclables ou non réutilisables. Une attention particulière est accordée à la question de l'isolation thermique/acoustique. La condition de base pour l'utilisation des matériaux d'isolation dans les processus de recyclage et de réemploi est la réalisation d'une déconstruction non destructive et qui ne pollue pas le matériau avec des substances secondaires. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des pratiques de déconstruction qui permettent un démontage sûr et ciblé des matériaux de construction. Le projet DeCo se présente précisément comme une solution contenant des notions et des propositions utiles et directement applicables pour une déconstruction correcte du patrimoine bâti. Les outils fournis par le rapport sont fondamentaux pour l'application progressive des concepts d'économie circulaire à l'ensemble du secteur de la construction.

Le rapport se conclut par une analyse des coûts générés par l'application des lignes directrices pour la déconstruction des bâtiments. Une démolition par déconstruction de bâtiments récents isolés pourrait coûter en moyenne environ 60 % de plus qu'une démolition classique selon l'état de l'art actuel. Le coût plus élevé est principalement dû à la nécessité d'employer plus de main-d'œuvre et de travaux préparatoires. Par ailleurs, il a été estimé qu'une déconstruction systématique pourrait conduire à une diminution des coûts moyens de mise en décharge (inertes) d'environ 23% et des volumes d'environ 22% grâce aux matériaux propres. La baisse pourrait atteindre jusqu'à 93% des coûts de mise en décharge et d'environ 96% des volumes, si l'on suppose un recyclage complet du matériau inerte. En outre, pour le moment, les revenus potentiels provenant de la vente de composants réutilisables n'ont pas été pris en compte. Ce chapitre montre uniquement comment les coûts plus élevés peuvent être compensés par la possibilité d'obtenir des déchets plus propres et séparés, c'est-à-dire avec un potentiel élevé de récupération.

La déconstruction des bâtiments est une condition nécessaire, mais non suffisante pour une économie circulaire dans la construction. Des approfondissements futurs des prochaines étapes pour une économie circulaire des bâtiments permettront de compléter et d'étudier les coûts et les revenus en considérant les chaînes de recyclage et de réemploi possibles des matériaux.

ABSTRACT (DE)

Seit den 1980er- bis 1990er-Jahren ist in der Schweiz eine schrittweise Verlagerung der Bauteile hin zu komplexeren Lösungen zu beobachten, die sich durch die Kombination von Materialien verschiedener Kategorien und das Vorhandensein von Wärme- und Schalldämmung auszeichnen. Wenn diese Bauteile auf unsystematische und destruktive Weise mit den derzeit verwendeten Techniken abgerissen werden, besteht die Möglichkeit, dass es zu ernsthaften Problemen bei der Trennung und Entsorgung der Abfälle kommt. Nach der Ölkrise Ende der 1970er Jahre hat die Verwendung von Dämmstoffen in Gebäuden und von in Bauwerke eingebettete Anlagen zugenommen, deren Vorhandensein die Schwierigkeiten bei der Entsorgung von Abbruchabfällen noch verschärft. Dieses Problem muss zeitnah gelöst werden. In der Tat wird in den kommenden Jahren in der Schweiz mit einer stetigen Zunahme des Abbruchs von jüngeren Gebäuden gerechnet. Dies wird zu grösseren Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Abbrucharbeiten und zu einem Anstieg der Bauabfälle mit einer geringeren Recyclingquote führen. Dies bedeutet eine Vermischung verschiedener Materialien, die getrennt entsorgt werden müssen, was aber nicht immer möglich ist. Ausserdem besteht eine reale Gefahr für die Umwelt und die Gesundheit aufgrund der wahrscheinlichen Verbreitung von Rückständen dieser Baustoffe.

Das Projekt *DeCO - Richtlinien für den Rückbau neuerer Gebäude* zielt darauf ab, standardisierte Verfahren (Richtlinien) für den Rückbau und die Demontage von Gebäuden zu entwickeln, um die zukünftige Bewirtschaftung von Bauabfällen bestmöglich sicher zu stellen. Als erster Schritt soll die Recycling-/Wiederverwendungsrate von Baumaterialien erhöht werden, um das Ziel einer Kreislaufwirtschaft im Bausektor zu verfolgen. Das Projekt ist in themenbezogene Module und zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase umfasst die Studien, die durchgeführt wurden, um den aktuellen Stand der seit den 1980er bis 1990er Jahren für den Bau von Gebäuden verwendeten Aufbausysteme, den rechtlichen Rahmen sowie den aktuellen Stand der Forschung und des Recyclingpotenzials zu ermitteln. Auf der Grundlage dieser Analyse werden die Rückbaurichtlinien entwickelt und eine Schätzung der mit dem Rückbau von Gebäuden verbundenen Kosten vorgenommen.

Es wird eine Analyse des Stands der Technik der in den Schweizer Gebäuden verwendeten Aufbausysteme vorgelegt, wobei der Schwerpunkt auf dem Wärme- und Schallschutz liegt. Insbesondere wird darüber informiert, woran die verwendeten Dämmstoffe zu erkennen sind, in welchen Kombinationen diese in Bauteilen zu finden sind, welche Verfahren zu ihrer Entsorgung bisher zulässig sind, sowie über die Möglichkeiten des Recyclings/der Wiederverwendung im Hinblick auf den Zustand des Materials am Ende seiner Lebensdauer. Zweitens werden einige Fallstudien und der Stand der Forschung zum Thema Gebäuderückbau, Methoden zur Trennung und zum Recycling von Dämmstoffen und andere neue Erfahrungen der Abfallverwertung beschrieben. Anschliessend wurden Befragungen mit den wichtigsten Tessiner Unternehmen im Bereich Recycling, Abriss und Rückbau von Gebäuden geführt, um die Machbarkeit, das Potenzial und die Komplexität der im Rahmen des DeCO-Projekts vorgeschlagenen Methode zu überprüfen. Darüber hinaus werden einige Hinweise zum praktischen Rückbau und die Analyse einer Fallstudie gemacht, die für den Kanton Tessin repräsentativ ist. Schließlich wurden Rückbaurichtlinien erstellt, und zwar in Form von Rückbaumerkblättern für Bauteile und Ende der Lebensdauer-Merkblättern für Materialien. Die Rückbaumerkblätter enthalten Empfehlungen und Ratschläge zur Vorgehensweise und zu den Verarbeitungsabläufen, die durchzuführen sind, um den Rückbau jedes Bauteils in die Praxis umzusetzen. Durch dieses Verfahren können möglichst homogene Materialien gewonnen werden, was die Effizienz des Recyclings und der potenziellen Wiederverwendung erhöht und eine Verbreitung in der Umwelt verhindert. Die Ende der Lebensdauer-Merkblätter für Dämmstoffe berücksichtigen hingegen deren Eignung für Recycling, Wiederverwendung, selektive Demontage oder Entsorgung ohne Gefährdung von Gesundheit und Umwelt. Dem Bericht beigefügt sind Rückbaumerkblätter für die wichtigsten Bauteile, die in neu errichteten Gebäuden verwendet werden, sowie Ende der Lebensdauer-Merkblätter für die in der Schweiz am häufigsten verwendeten Dämmstoffe.

Ziel der im Rahmen des DeCO-Projekts vorgeschlagenen Richtlinien ist es, die Deponierung von Bauschutt als unsaubere, nicht recycelbare oder nicht wiederverwendbare Materialien zu reduzieren. Besonderes Augenmerk wird auf die Frage der Wärme- und Schalldämmung gelegt. Grundlage für den Einsatz von Dämmstoffen in Recycling- und Wiederverwendungsprozessen ist die Durchführung eines zerstörungsfreien Rückbaus, der das Material selbst nicht mit anderen Substanzen belastet. Daher müssen Rückbaupraktiken eingeführt werden, die einen sicheren und gezielten Rückbau von Baumaterialien ermöglichen. Das DeCo-Projekt stellt eine Lösung dar, die nützliche Konzepte und Vorschläge enthält, die direkt für den ordnungsgemässen Rückbau des Gebäudebestands anwendbar sind. Die Informationen, die der Bericht liefert, sind grundlegend für die schrittweise Anwendung von Konzepten der Kreislaufwirtschaft auf den gesamten Bausektor.

Eine Analyse der Kosten für den Rückbau von Gebäuden wird am Ende des Berichts vorgestellt. Ein Abbruch von vereinzelt neueren Gebäuden durch Rückbau könnte nach derzeitigem Stand der Technik im Durchschnitt ca. 60 Prozent mehr kosten als ein konventioneller Abbruch. Die höheren Kosten sind vor allem darauf zurückzuführen, dass mehr Arbeitskräfte beschäftigt werden müssen und vorläufige Arbeiten erforderlich sind. Im Falle des vollständigen Recyclings von Zuschlagstoffen werden die Deponiekosten um schätzungsweise 23 % bis zu 93 % gesenkt. Die Volumenreduktion würde 22 % bis 96 % betragen. Darüber hinaus wurden mögliche Einnahmen aus dem Verkauf wiederverwendbarer Komponenten bisher nicht berücksichtigt. In diesem Kapitel wird lediglich aufgezeigt, wie die höheren Kosten durch die Möglichkeit der Gewinnung sauberer und getrennter Abfälle, d. h. mit hohem Verwertungspotenzial, kompensiert werden können.

Der Rückbau von Gebäuden ist eine notwendige, aber nicht ausreichende Bedingung für eine Kreislaufwirtschaft im Bausektor. Zur Vertiefung der nächsten Schritte für eine Kreislaufwirtschaft von Gebäuden wird es daher möglich sein, die Kosten und Einnahmen unter Berücksichtigung der möglichen Recycling- und Wiederverwendungsketten von Materialien zu vervollständigen und zu untersuchen.

1 INTRODUZIONE

Il progetto DeCo ha l'obiettivo di sviluppare le Linee guida per la decostruzione e lo smontaggio degli edifici recenti al fine di impostare la futura gestione dei rifiuti da cantiere.

Il progetto DeCO contiene una disamina dello stato dell'arte, prospettive ed opportunità della demolizione, del riciclaggio e del riuso dei rifiuti edili, focalizzandosi sul tema degli isolamenti. Contiene nozioni e proposte al fine di applicare i concetti di economia circolare al settore della costruzione.

Il progetto risponde alla misura 4.7 del Piano Cantonale ticinese di gestione dei rifiuti 2019-2023: "elaborare uno studio sulle conseguenze dei provvedimenti di isolamento termica e acustica degli edifici moderni nella futura gestione dei rifiuti da cantiere / obiettivo di prevenzione".

Gli edifici realizzati in Svizzera a partire dagli anni '80-'90 del Ventesimo secolo presentano delle soluzioni costruttive complesse realizzate attraverso sistemi con stratigrafie non omogenee e materiali (isolamenti termici e acustici) che possono presentare un rischio per la salute e l'ambiente se la loro decostruzione e il loro smaltimento non avvengono in modo idoneo. In quest'ottica è necessario porre oggi le basi per una decostruzione di questi edifici nel futuro, ritenuto che a partire dal 2025-2030 si prevede un progressivo aumento delle ristrutturazioni e demolizioni dato che tali manufatti raggiungeranno la soglia dei 50 anni di età e della fine del loro ciclo di vita.

Le **tecnologie costruttive** degli ultimi decenni (dagli anni '80 -'90) sono di **complessità più elevata rispetto al periodo precedente e i pacchetti costruttivi sono composti da diversi materiali accoppiati. Se questi elementi costruttivi vengono demoliti usando tecniche tradizionali e non decostruiti/smontati, è possibile che si verifichino gravi problemi sia ambientali** (p.es. diffusione di detriti plastici nell'ambiente) **sia di smaltimento dei rifiuti** (p.es. impossibilità di riciclare le frazioni minerali a causa della contaminazione di isolanti plastici/minerali). In prospettiva, **le tecniche di demolizione dovranno trasformarsi viepiù in tecniche di decostruzione e smontaggio, per evitare contaminazioni pericolose per l'uomo e l'ambiente e per permettere la riciclabilità dei materiali.**

Questo progetto pone le basi conoscitive per ulteriori possibili studi o linee guida in merito ai temi del riuso dei materiali da costruzione e ai criteri progettuali per rendere smontabili/decostruibili gli edifici (progettazione tenendo in considerazione la decostruzione). Inoltre, migliorando la qualità del materiale risultante dall'attività di demolizione, si intende anche creare il contesto propizio per rendere possibile lo sviluppo di nuove tecniche di riciclaggio da parte delle aziende attive nel settore.

2 GLOSSARIO

Ai fini del presente documento valgono i termini e le definizioni seguenti:

Linea guida	documento che contiene raccomandazioni di approccio, procedure e azioni volte alla decostruzione degli elementi di un edificio al fine di ottenere materiali puliti, riutilizzabili, riciclabili e di diminuire gli apporti in discarica.
Edifici recenti	edifici costruiti indicativamente dagli anni '80 – '90 del XX secolo caratterizzati da soluzioni costruttive stratificate contenenti materiali di diversa natura, con particolare attenzione agli isolamenti termici/acustici, ai materiali plastici, metallici e alla importante presenza di installazioni tecniche.
Edifici tradizionali	edifici costruiti indicativamente fino agli anni '50 del XX secolo caratterizzati da soluzioni costruttive omogenee per tipo di materiale, poco stratificate e nelle quali non vi è una significativa presenza di isolamenti termici/acustici o di installazioni tecniche. Gli edifici dagli anni '60 fino agli '80 sono invece caratterizzati da una maggiore stratificazione dei materiali, senza però raggiungere la complessità degli edifici recenti.
Demolizione	attività di distruzione e rimozione totale o parziale di un edificio/di un manufatto. La demolizione può avvenire senza la separazione delle diverse categorie di materiali o con la separazione delle diverse categorie di materiali (demolizione <i>selettiva</i>). Visto che per legge è necessaria la separazione dei materiali per categoria, nel presente rapporto si sottintende che la demolizione convenzionale secondo lo stato dell'arte attuale sia di tipo selettivo.
Decostruzione	demolizione attraverso un approccio sistematico di smontaggio e separazione degli elementi costruttivi al fine di recuperare materiali e componenti il più possibile integri, non danneggiati né miscelati con altri materiali per massimizzare il potenziale di riciclabilità e riusabilità degli stessi.
Riciclaggio	processo di trattamento di un componente costruttivo, scomposto nei materiali che lo costituiscono in modo che questi ultimi vengano reimpiegati nei cicli produttivi in sostituzione o integrazione delle materie prime.
Riuso	azione con cui si utilizza di nuovo un elemento costruttivo precedentemente impiegato in una costruzione con la medesima funzione o meno. A differenza del riciclaggio, nel riuso non sono previsti sostanziali processi di trattamento dei materiali ma solo limitati interventi di pulizia, adattamento e riparazione.
Rifiuti	cose mobili delle quali il detentore si libera o che devono essere smaltite nell'interesse pubblico
Rifiuti edili	rifiuti risultanti da lavori di costruzione, ristrutturazione o demolizione di impianti fissi
Smaltimento dei rifiuti	comprende il riciclaggio, deposito definitivo nonché le operazioni preliminari di raccolta, trasporto, deposito provvisorio e trattamento dei rifiuti.
Trattamento dei rifiuti	si intende qualsiasi modificazione fisica, biologica o chimica dei rifiuti.
Economia lineare	sistema economico fondato sulla estrazione di materie prime e la conseguente fabbricazione, consumo ed eliminazione dei prodotti. Le materie prime diventano sempre più scarse, i rifiuti crescono e con loro i problemi ambientali che li accompagnano.
Economia circolare	l'economia circolare mira ad eliminare i problemi associati alla società dell'usa e getta. Invece di eliminare i prodotti una volta che sono stati consumati, mira

a creare cicli attraverso la condivisione, il riutilizzo, la riparazione e il riciclaggio. Nell'economia circolare, i prodotti, i materiali e le risorse sono utilizzati il più a lungo possibile e il loro valore viene così mantenuto. Vengono quindi consumate meno materie prime e si producono meno rifiuti rispetto al sistema economico lineare

3 CONTESTO

3.1 Svizzera

In Svizzera l'attività di costruzione provoca una grande quantità di rifiuti. L'attività di costruzione risponde ancora a logiche e processi tipici dell'economia lineare. Milioni di tonnellate di rifiuti sono prodotte nell'attività di costruzione, demolizione, risanamento e sostituzione degli edifici.

Nel 2014 l'attività di costruzione ha raggiunto un picco di circa 46.3 milioni di metri cubi costruiti all'anno, nel 2015 i rifiuti di demolizione si sono attestati a 10 milioni di metri cubi, si attende un aumento del 20% per il 2025 cioè fino a 12 milioni di metri cubi all'anno [Figura 1]. In termini di peso, l'attività delle costruzioni ha causato nel 2015 in Svizzera 7.5 milioni di tonnellate di rifiuti (di cui 4.2 milioni di tonnellate dalle demolizioni e 2.9 milioni di tonnellate dai risanamenti) [Figura 1, Figura 2]¹. A titolo di paragone i rifiuti urbani si attestano a 6 mio ton/anno². In Svizzera si producono ca. 1.2 mc e ca. 1 tonnellata di rifiuti per abitante.

Calcestruzzo e inerti rappresentano il 50 % dei rifiuti in peso, mentre i materiali non strutturali come legno, ceramiche, metalli, pannelli rappresentano il 28% dei rifiuti in peso (2.1 milioni di tonnellate/anno)¹ [Figura 2]. La maggior parte dei rifiuti di quest'ultima categoria proviene dai risanamenti. I rifiuti provenienti da calcestruzzo e inerti sono caratterizzati da discreti tassi di riciclo (per esempio in Ticino del 67%³), mentre i materiali non strutturali tipicamente vengono smaltiti come rifiuti urbani, speciali e spesso esportati all'estero³.

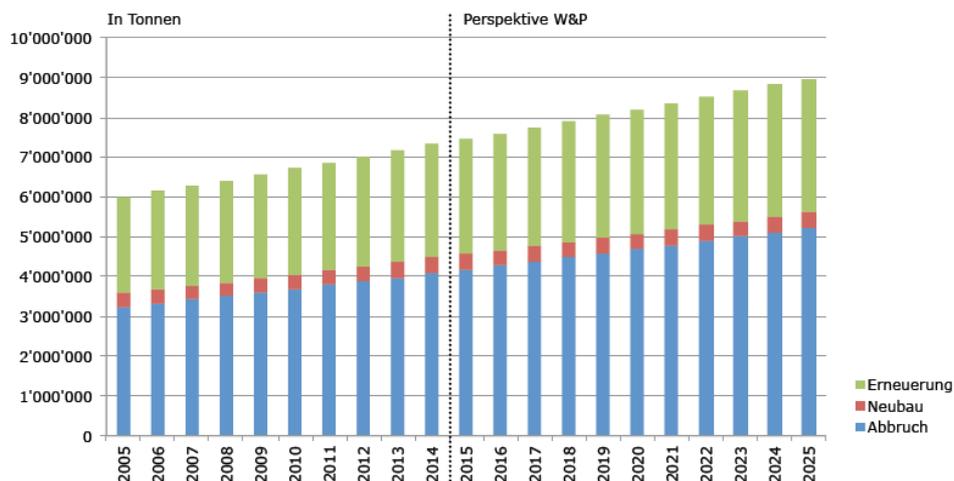


Figura 1 Prospettiva 2020 - 2025 dell'evoluzione dei rifiuti del settore della costruzione in Svizzera (tonnellate)
Fonte: Bauabfälle in der Schweiz – Hochbau. Studie 2015. Bundesamt für Umwelt BAFU

¹ Bauabfälle in der Schweiz – Hochbau. Studie 2015. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

² RIFIUTI: QUANTITÀ E RICICLAGGIO NEL 2017. R492-0437. Ufficio federale dell'ambiente UFAM. 3003 Berna, dicembre 2018

³ Censimento rifiuti: i risultati del rilevamento 2016. Samy Knapp, Fabio Gandolfi, Daniele Zulliger. Dati – Statistiche e società – Ottobre 2017

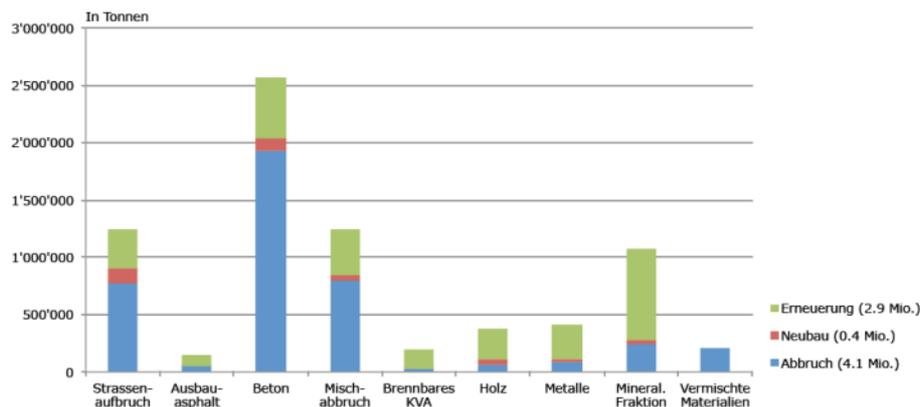


Figura 2 Rifiuti del settore della costruzione 2015 per tipo e processo. Fonte: Gebäudemodel Wüest & Partner 2015

In Svizzera si prevede per i prossimi anni un aumento costante delle demolizioni di edifici costruiti dagli anni '50 in poi, mentre diminuiranno sensibilmente gli interventi sugli edifici costruiti nella prima metà del Novecento [Figura 3]. Visto che più l'epoca di costruzione si avvicina all'epoca contemporanea, gli edifici tendono a presentare soluzioni costruttive più complesse e stratificate che comportano la presenza di una maggiore quota di materiali costruttivi non minerali come elementi compositi e combustibili (isolamenti termici) [in verde, Figura 4]. È lecito attendersi nei prossimi anni una maggiore quota di rifiuti edili caratterizzate da un minore tasso di riciclo e da una maggiore difficoltà nelle operazioni demolizione o risanamento che possono comportare errori e contaminazioni tra diversi materiali che richiedono smaltimenti differenziati non sempre possibili. Tutto ciò è aggravato dal fatto che **la maggior parte dei pacchetti costruttivi impiegati in Svizzera non sono concepiti per essere smontati**. Infine è previsto per i prossimi anni un trend di aumento delle demolizioni di edifici molto recenti e costruiti dopo il 2000 [Figura 3]. Convenzionalmente la vita utile degli edifici moderni e post moderni è considerata di ca. 50 – 75 anni, tuttavia è possibile che questa tendenza di aumento di demolizioni di edifici recenti non sia dovuta ad un degrado di questi ultimi ma al fatto che **le destinazioni d'uso degli edifici non corrispondono più alle esigenze** (Durmisevic 2006) e quindi che la vita utile degli edifici stia diventando più corta in quanto anche il ritorno degli investimenti finanziari deve essere sempre più ravvicinato considerando anche i veloci cambiamenti a livello economico.

Si ritiene che anche i seguenti fattori potranno portare ad un aumento delle ristrutturazioni/demolizioni:

- Rarefazione/esaurimento dei terreni edificabili liberi da costruzione (vergini)
- Tendenza allo sviluppo centripeto degli insediamenti
- Aumento del costo dei terreni e sfruttamento completo delle capacità edificatorie

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

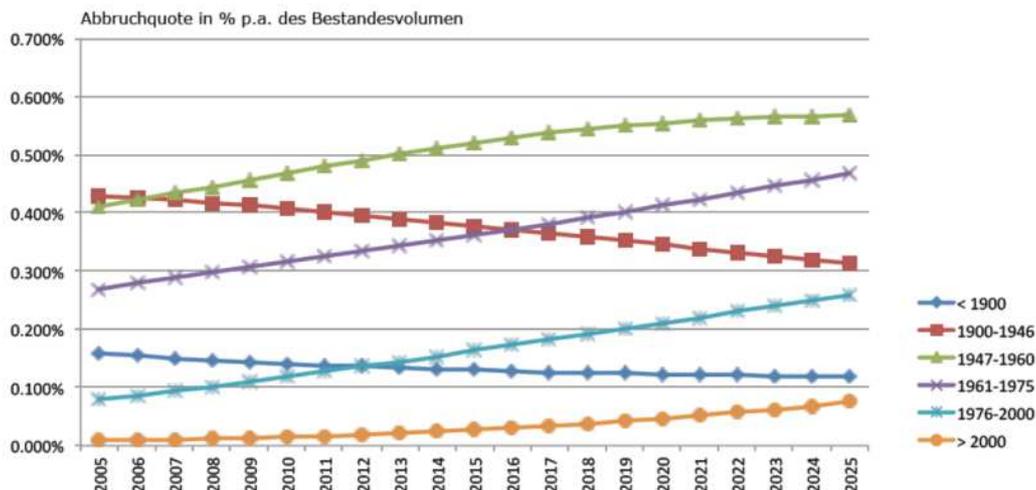


Figura 3 Quote di demolizione per classe di età degli edifici. Modello 2015. Fonte: Gebäudemodell Wüest & Partner 2015

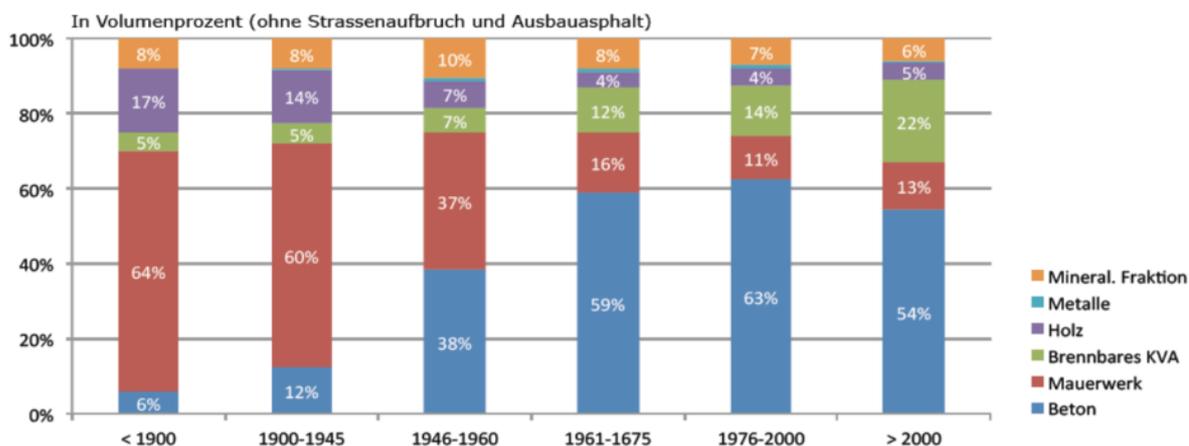


Figura 4 Materiali da costruzione per classe di età degli edifici.. Fonte: Gebäudemodell Wüest & Partner 2015

Un esempio di questo trend è il Fortis Bank Building ad Amsterdam che è stato oggetto di riconversione e demolizione 18 anni dopo la sua costruzione⁴.

4 BAMB – Building as material Bank - D1 Synthesis of the state-of-the-art. Wim Debacker and Saskia Manshoven (VITO), Apelman L., Beurskens P., Biberkic F., Denis F., Durmisevic E., Dzibur A., Hansen K., Henrotay C., Herthogs P., Hobbs G., Hrasnica M., McCormick S., Mulhall D., Oseyran J., Paduart A., Peeters K., Peters M., Quintas A., Ribeiro A., Steinlage Cornet M., Serdarevic A., van den Berg M., van Oorschoot J.A.W.H., Vandenbroucke M. and Zanatta. Horizon 2020 Framework programme of the European Union. November 2016



Figura 5 Stato dell'edificio Fortis Bank Amsterdam. Fonte: Deliverable D8. Reversible Building Design. Reuse Potential Tool. Elma Durmisevic et al. BAMB. February 2019

Vi è il pericolo che si inneschino analoghe dinamiche anche in Svizzera riguardanti gli edifici amministrativi. Per esempio a Lugano, la diminuzione delle attività bancarie e affini ha provocato la necessità di ricollocare ingenti superfici ad uffici e quindi l'offerta di edifici amministrativi è cresciuta del 4% dal 2017 al gennaio 2019, raggiungendo oggi il 12% del parco immobiliare, pari a c. 60'000 m²⁵. Quindi aumenta il rischio di presenza sul mercato di edifici amministrativi non utilizzati per i quali non è chiara la reale appetibilità del mercato e che riscontrano già oggi una perdita di valore importante. Considerata la difficoltà di conversione di questi stabili ad altre destinazioni si stanno delineando delle condizioni di mercato che potrebbero favorire **scenari di demolizione anticipata con un conseguente pericolo futuro di aumento dei rifiuti**. Questi possibili scenari comporterebbero un aumento di rifiuti caratterizzati da difficoltà di smaltimento (edifici recenti con tecniche costruttive stratificate e presenza di isolamenti termici).

Anche a livello europeo il settore delle costruzioni è un grande produttore di rifiuti (38%), usa il 50% delle risorse naturali e comporta il 40% delle emissioni di CO₂⁴.

3.2 Ticino

In Ticino, nel 2019, l'**85%**⁶ dei rifiuti proviene dall'attività edile (rifiuti minerali). I rifiuti **minerali vengono riciclati per una quota del 57%**⁶. La rimanente parte viene depositata in **discarica (26%, 345'000 m³)** e **esportata (17%)**. Il **materiale di demolizione costituisce il 67% dei rifiuti edili depositati in discarica**. Inoltre tutti i materiali non minerali (p.e. legno, pannellature, finestre, ecc...) vengono smaltiti come rifiuto urbano ingombrante combustibile e speciale (tipicamente tramite incenerimento). Tali materiali, anche se provengono dall'attività edile, non rientrano quindi nella categoria dei rifiuti edili come considerata dalla statistica ticinese. È quindi possibile affermare che in realtà la percentuale dei rifiuti proveniente dall'attività delle costruzioni sia maggiore alla quota dell'**84.8%** determinata considerando solo i rifiuti minerali.

⁵ Fonte: Immo Monitoring 2019/2. Wuest & Partner

⁶ Censimento rifiuti: i risultati del rilevamento 2019. Samy Knapp, Fabio Gandolfi. Ufficio dei rifiuti e siti inquinati URSI

4 METODOLOGIA

Il progetto è articolato in **moduli tematici e diverse fasi**, alle fasi **conoscitive** sono seguite le fasi di **sviluppo**.

Le fasi conoscitive sono basate su **ricerche bibliografiche**, sull'esperienza e le competenze SUPSI in merito allo svolgimento di attività di **ricerca, formazione e servizi**, su interviste di aziende attive sul territorio, e sui riscontri a seguito di visite presso **aziende attive nel settore** della demolizione e raccolta/riciclaggio di rifiuti provenienti dal settore della costruzione.

Nelle fasi conoscitive si è proceduto a delineare il **contesto** in merito alla produzione di rifiuti attuale e futura in Svizzera e in Ticino del settore della costruzione di edifici in relazione all'evoluzione delle tecnologie costruttive. Si è ricostruito il **quadro normativo e legislativo** riguardante i prodotti da costruzione e la gestione dei rifiuti. Si sono delineate le **evoluzioni delle tecnologie costruttive**, di isolamento termico e impiantistiche avvenute negli ultimi decenni nel settore della costruzione degli edifici che ne hanno aumentato la complessità realizzativa e di conseguenza la complessità di demolizione. Visto che l'argomento centrale del progetto riguarda la presenza potenzialmente problematica di materiali isolanti e la conseguente separazione e smaltimento, si sono riportati i risultati delle ricerche volte a individuare i **materiali isolanti** più diffusi, le relative tecniche di **posa**, i produttori con sede in Svizzera, i principali fenomeni di **degrado** a cui sono soggetti questi materiali, la possibile presenza di sostanze inquinanti e le vie di fine vita attuali e potenziali (future/sperimentali). Si sono contattati i rappresentanti territoriali delle principali ditte di produzione di isolamenti termici in Svizzera per comprendere gli ev. approcci di **ritiro e riciclaggio** dei materiali isolanti prodotti.

Successivamente si è proceduto a delineare lo **stato dell'arte in merito alla demolizione degli edifici e ai processi di riciclo e separazione** dei materiali isolanti, sperimentali e non, in Svizzera e all'estero. Sono stati analizzati progetti di ricerca **svizzeri ed europei**, pubblicazioni **nazionali e internazionali**, iniziative private ed istituzionali. Si è eseguita una cernita ragionata degli **approcci in diversi paesi europei** nell'ambito della valorizzazione dei rifiuti edili.

Si sono eseguite anche ricerche bibliografiche in merito allo stato dell'arte delle **tecniche e strumenti per la demolizione** degli edifici.

Al fine di contestualizzare le ricerche effettuate alla realtà operativa quotidiana sul territorio e di orientare l'elaborazione dei documenti di **Linee guida per la decostruzione** ai fini di un **uso reale, pratico e diffuso**, si sono eseguite interviste e visite presso le **aziende del territorio** che si occupano di demolizione, smaltimento e riciclaggio di rifiuti edili che si sono rese disponibili.

Una volta terminata la fase conoscitiva, si è iniziata la **fase di sviluppo** delle Linee guida per la decostruzione, identificando e redigendo un **catalogo degli elementi costruttivi per la decostruzione** basandosi sui cataloghi federali degli elementi costruttivi, per ciascun elemento costruttivo individuato si sono sviluppate le Linee guida per la decostruzione sotto forma di **Schede tematiche**. In seguito si sono redatte anche le **Schede di fine vita** dei materiali isolanti contenenti sia le indicazioni per uno smaltimento corretto di tali materiali, sia le vie di fine vita potenziali e sperimentali mirate ad un riciclaggio o riuso.

Durante la redazione delle Linee guida per la decostruzione si sono sottoposte alle aziende precedentemente contattate le bozze di tali documenti in modo da raccogliere **osservazioni, suggerimenti** e risolvere eventuali criticità prima della redazione definitiva.

Una volta consolidati i documenti, grazie al supporto di un esperto esterno riconosciuto dalle autorità cantonali, si è eseguita una **stima dei costi** in modo da stimare per diverse tipologie di edifici costruiti secondo lo standard costruttivo contemporaneo (edifici abitativi monofamiliare, plurifamiliare e un edificio scolastico) eventuali differenze di costo tra l'applicazione di una decostruzione sistematica

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

come contenuta nelle Linee guida per la decostruzione e l'ipotesi di eseguire in futuro la demolizione di tali edifici secondo l'approccio attuale (business as usual). Per ciascuna tipologia di edificio si sono considerate **tecnologie costruttive differenti** (massiccia in calcestruzzo, massiccia il laterizio, prefabbricazione in legno).

5 QUADRO NORMATIVO

5.1 Prodotti da costruzione

I materiali isolanti termici (e acustici) incorporati in opere di costruzione rientrano nell'ambito della Legge Federale concernente i prodotti da costruzione (LProdC 933.0 in vigore dal 1° ottobre 2014) e dell'Ordinanza sui prodotti da Costruzione (OProdC 933.01). La Legge disciplina l'immissione in commercio e la messa a disposizione sul mercato dei prodotti da costruzione. Lo scopo è garantire la sicurezza dei prodotti da costruzione e agevolare il libero scambio internazionale delle merci. Questa legge è un adattamento al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.

In accordo con quanto definito nei testi legislativi i fabbricanti di prodotti da costruzione sono tenuti a redigere una dichiarazione di prestazione quando un prodotto da costruzione, coperto da una norma armonizzata o corrispondente a una valutazione tecnica europea rilasciata per quel prodotto, viene immesso sul mercato. Per tutti i prodotti coperti da una norma tecnica armonizzata designata, nelle norme svizzere devono essere adottate tutte le disposizioni della norma europea corrispondente, comprese le procedure ivi specificate per la valutazione e il controllo della costanza delle prestazioni. Ciò ha reso necessaria una revisione della norma SIA 279 versione 2011. Per i prodotti per i quali non esistono norme armonizzate è ancora necessario fare riferimento ad apposite procedure di prova, controlli di produzione, ecc.

La marcatura CE non è richiesta in Svizzera, ma i prodotti che la recano possono circolare nel mercato svizzero.

Le norme armonizzate dei materiali isolanti ne definiscono i requisiti specifici, per poter essere commercializzati. Si precisa che **nelle norme di prodotto non sono ancora trattate questioni relative all'uso delle risorse, alla gestione dei rifiuti e alle emissioni durante la fase di utilizzo**. Tuttavia, è opportuno precisare che comitati tecnici scientifici sono attivi su queste tematiche con l'intento di integrare in futuro queste informazioni nella normativa tecnica.

Per i prodotti isolanti considerati in questo progetto, nella Tabella 1 si riporta l'**elenco delle norme armonizzate per materiali isolanti** (al dicembre 2020) con la relativa data di entrata in vigore della marcatura CE obbligatoria. Questa serie di norme contengono le specifiche tecniche e caratteristiche di prodotto e includono procedure di prova, valutazione di conformità, marcatura ed etichettatura.

Tabella 1 Elenco delle norme armonizzate per i materiali isolanti.

Tipo prodotto	Norma armonizzata	Data di entrata in vigore obbligo marcatura CE
Lana di roccia e lana di vetro - pannelli	EN 13162	13 maggio 2003
Lana di roccia e lana di vetro - sfusa (insufflaggio)	EN 14064-1	1 dicembre 2011
Polistirene espanso EPS	EN 13163	13 maggio 2003
Polistirene estruso XPS	EN 13164	13 maggio 2003
Poliuretano espanso rigido - pannelli	EN 13165	13 maggio 2003
Vetro cellulare	EN 13167	13 maggio 2003
Lana/fibra di legno	EN 13168	13 maggio 2003
Sughero espanso	EN 13170	13 maggio 2003
Fibre di legno mineralizzate	EN 13171	13 maggio 2003

Prima dell'entrata in vigore di questa normativa i materiali utilizzati per la realizzazione dell'isolamento degli edifici, venivano caratterizzati in base alle prove definite dalla norma SIA 279 (edizione del 1980, 1988, 2000).

5.2 Gestione dei rifiuti

Gli adempimenti previsti per la gestione dei rifiuti sono prescritti dalla legislazione federale; la *Legge sulla protezione dell'ambiente* (LPAmb 814.01, del 1983) e le relative ordinanze (nella presente ricerca sono applicabili: OPSR 814.600, del 2015; OTRif 814.610, del 2005; OLTRif del 2005) prescrivono le disposizioni sullo smaltimento dei rifiuti⁷.

La legislazione federale stabilisce in sostanza tre strategie per la gestione dei rifiuti (art. 30, LPAmb):

- 1) **prevenzione**: la produzione dei rifiuti dovrebbe essere il più possibile prevenuta;
- 2) **riciclo**: i rifiuti dovrebbero poter essere riciclati;
- 3) **smaltimento** sostenibile: i rifiuti dovrebbero essere smaltiti in modo rispettoso dell'ambiente.

Il concetto di "smaltimento" dei rifiuti è inteso in modo articolato infatti, comprende il riciclaggio o il deposito definitivo nonché le operazioni preliminari di raccolta, trasporto, deposito provvisorio e trattamento (art. 7, LPAmb).

L'**Ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti** prescrive, laddove possibile, la raccolta separata e il riciclaggio (art. 17, OPSR) con il fine di garantire un minor inquinamento dell'ambiente. Questo aspetto apre interessanti prospettive di ricerca e sviluppo per quanto concerne lo studio di possibili filiere di riciclo dei materiali edili (nuovi impianti di produzione e aree di deposito).

L'**Ordinanza del DATEC sulle liste per il traffico di rifiuti** (814.610.1), secondo quanto previsto dall'art. 2 OPSR, comprende un elenco dei rifiuti, un elenco dei metodi di smaltimento⁸ e i quantitativi soglia per i rifiuti speciali.

L'elenco dei rifiuti consta di 20 capitoli, include 851 voci ed è articolato secondo la provenienza dei rifiuti stessi. In questo elenco sono distinti i rifiuti speciali (rs), i rifiuti soggetti a controllo con e senza obbligo di modulo di accompagnamento (rispettivamente rcm, rc) e i rifiuti non soggetti a controllo (-nk). Questa distinzione è necessaria in quanto la raccolta dei rifiuti speciali, a causa della loro composizione o delle proprietà fisico-chimiche o biologiche, può richiedere misure di smaltimento particolari.

Il capitolo 17 elenca la classe dei rifiuti edili e materiale di sterco (codice rifiuti 17 con 8 sottoclassi).

⁷ Elenco delle normative in materia di rifiuti considerate nell'ambito di questo documento:

- a livello Federale:

Legge federale sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) del 7.10.1983

Ordinanza del DATEC sulle liste per il traffico di rifiuti (OLTRif) del 18.10.2005

Ordinanza sul traffico dei rifiuti (OTRif) del 22.06.2005

Ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti (OPSR) del 4.12.2015

- a livello Cantonale:

Legge cantonale di applicazione della legge federale sulla protezione dell'ambiente (LALPAmb) del 24.03.2004

Legge concernente l'istituzione dell'azienda cantonale dei rifiuti (LACR) del 24.03.2004

Regolamento generale della legge cantonale di applicazione della legge federale sulla protezione dell'ambiente (RLaLPAmb) del 17.05.2005

Regolamento di applicazione dell'Ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti (ROPSR) del 30.06.2021

Regolamento di applicazione dell'Ordinanza sul traffico di rifiuti (ROTRif) del 10.07.2007.

⁸ I metodi di smaltimento indicati nell'Ordinanza del DATEC includono:

- metodi di eliminazione;

- metodi di riciclaggio, recupero, rimpiego diretto o alternativo dei rifiuti.

I **rifiuti edili** sono quelli risultanti da lavori di costruzione, ristrutturazione o demolizione di impianti fissi e comprendono (cfr. schema del Piano di gestione dei rifiuti del Cantone):

- **materiale di scavo e di sgombero** non inquinato;
- rifiuti che possono essere depositati senza ulteriore trattamento in una discarica per **materiali inerti** (rifiuti edili minerali e materiali inerti);
- **rifiuti combustibili** come legno, carta, cartone e materie plastiche;
- **altri rifiuti** quali il vetro, i metalli e rifiuti speciali.

L'OPSR (art. 16) impone la valutazione di questi rifiuti proprio perché **i materiali da costruzione potrebbero contenere sostanze pericolose** in quantità tali di impattare sull'ambiente o sulla salute dell'uomo.

I materiali isolanti considerati in questo progetto possono rientrare, a dipendenza delle condizioni, nei codici 17 06 03, 17 06 04, 17 03 02.

6 M1 Stato attuale dei sistemi costruttivi

ABSTRACT (IT)

A partire dagli anni '80-'90 del Novecento, in Svizzera, si è assistito a un progressivo mutamento dei pacchetti costruttivi verso soluzioni più complesse, con stratigrafie composte da materiali difficilmente separabili. Ipotizzando di demolire questi elementi tecnici, utilizzando le tecniche attualmente impiegate, esiste un'alta probabilità che si verifichino gravi problemi di smaltimento dei rifiuti. La questione richiede una risoluzione tempestiva. Nel contesto svizzero è previsto per i prossimi anni un incremento della demolizione di edifici di recente costruzione (realizzati dagli anni '50 in poi) dovuto alla crescente incompatibilità tra le nuove esigenze di una società in evoluzione e le destinazioni d'uso previste inizialmente ed in seguito diventate obsolete. Ciò potrebbe comportare un aumento di rifiuti edili caratterizzati da un minore tasso di riciclo e da una maggiore difficoltà di gestione nelle operazioni di demolizione o risanamento, a causa delle miscele tra diversi materiali che richiedono smaltimenti differenziati non sempre possibili.

In questo senso, particolare attenzione va posta sui materiali isolanti, il cui impiego nelle costruzioni è aumentato notevolmente in seguito alla crisi petrolifera di fine anni '70 e alla conseguente attività normativa svizzera orientata alla diminuzione dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici. Tali componenti con funzioni di isolamento termico, ma anche acustico sono stati integrati all'interno delle tecnologie costruttive allora maggiormente impiegate con spessori via via maggiori per migliorare le prestazioni tecniche di involucro e partizioni interne.

In risposta all'emergente problema il progetto DeCO propone lo sviluppo di procedure standardizzate per la decostruzione e lo smontaggio degli edifici recenti. All'interno di DeCO, si colloca il seguente studio: partendo da una sintesi sull'evoluzione storica e da una mirata analisi dei prodotti di isolamento termico e acustico maggiormente impiegati negli edifici svizzeri, il documento fornisce le informazioni essenziali per trattare adeguatamente questi elementi in caso di demolizione. Viene indicato come riconoscere i materiali isolanti utilizzati, in che combinazioni questi ultimi si possono trovare nei pacchetti costruttivi, quali metodi per il loro smaltimento sono ad oggi consentiti, nonché le potenzialità di riciclaggio in relazione alle condizioni del materiale a fine vita. In particolare, viene sottolineato che affinché i materiali non divengano rifiuti inutilizzabili sono necessarie indagini preliminari per poter verificare la presenza di eventuali sostanze nocive/inquinanti, le condizioni di degrado. Ciò al fine di riconoscere l'attitudine dei materiali alla separazione selettiva al fine di una loro valorizzazione energetica, di riciclo/riuso o se semplicemente sono destinati a essere conferiti in discarica.

Per concludere, lo studio fornisce istruzioni significative per la futura demolizione del patrimonio costruito a partire dalla seconda metà del Novecento; alla base di queste indicazioni risiede il concetto che lo smaltimento dei rifiuti edili deve tener conto delle peculiarità dei materiali isolanti i quali per essere trattati in un'ottica il più sostenibile possibile devono essere adeguatamente individuati, riconosciuti e poi smontati.

ABSTRACT (FR)

Depuis les années 1980-1990, on assiste en Suisse à une évolution progressive des systèmes de construction vers des solutions plus complexes, avec des stratigraphies composées de matériaux difficilement séparables. En supposant que ces éléments techniques soient démolis à l'aide des techniques actuellement employées, il est fort probable que de graves problèmes d'élimination des déchets se posent. Cette question nécessite une résolution rapide. Dans le contexte suisse, on s'attend à une augmentation des démolitions de bâtiments récents (construits à partir des années 1950) dans les années à venir, en raison de l'incompatibilité croissante entre les nouvelles exigences d'une société en mutation et les usages prévus à l'origine, qui sont devenus obsolètes. Cela pourrait entraîner une augmentation des déchets de construction, caractérisée par un taux de recyclage plus faible et une gestion plus difficile lors des opérations de démolition ou d'assainissement, en raison du mélange de différents matériaux nécessitant une élimination séparée qui n'est pas toujours possible.

En ce sens, il convient d'accorder une attention particulière aux matériaux isolants, dont l'utilisation dans la construction a considérablement augmenté à la suite de la crise pétrolière de la fin des années 1970 et de la conséquente réglementation suisse visant à réduire la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments. Ces composants, ayant des fonctions d'isolation thermique et acoustique, ont été intégrés aux technologies de construction les plus utilisées à l'époque, avec des épaisseurs progressivement croissantes pour améliorer les performances techniques de l'enveloppe et des cloisons intérieures.

En réponse à ce problème émergent, le projet DeCO propose le développement de procédures standardisées pour la déconstruction et le démontage des bâtiments récents. Dans le cadre de DeCO, s'inscrit l'étude suivante: à partir d'un résumé de l'évolution historique et d'une analyse ciblée des produits d'isolation thermique et acoustique les plus utilisés dans les bâtiments suisses, le document fournit les informations essentielles sur la manière de traiter correctement ces éléments en cas de démolition. Il montre comment reconnaître les matériaux d'isolation utilisés, dans quelles combinaisons ils se trouvent dans les systèmes de construction, quelles méthodes d'élimination sont autorisées à ce jour, et le potentiel de recyclage en fonction de l'état du matériau en fin de vie. Il est notamment souligné que pour éviter que les matériaux ne deviennent des déchets inutilisables, des enquêtes préliminaires sont nécessaires pour vérifier la présence d'éventuelles substances nocives/polluantes et les conditions de dégradation. Ceci afin de reconnaître l'aptitude des matériaux à la séparation sélective en vue de leur valorisation énergétique, de leur recyclage/réemploi ou à la mise en décharge.

En conclusion, l'étude fournit des instructions significatives pour la démolition future du patrimoine bâti à partir de la seconde moitié du 20^e siècle. Ces instructions reposent sur le concept selon lequel l'élimination des déchets de construction doit tenir compte des particularités des matériaux isolants, qui, pour être traités de la manière la plus durable possible, doivent être correctement identifiés, reconnus et ensuite démontés.

ABSTRACT (DE)

Seit den 1980er- und 1990er-Jahren ist in der Schweiz eine allmähliche Verlagerung der Bauteile hin zu komplexeren Lösungen mit schwer zu trennenden Materialschichten zu beobachten. Unter der Annahme, dass diese technischen Elemente mit den derzeit angewandten Techniken abgerissen werden, ist die Möglichkeit gross, dass schwerwiegende Entsorgungsprobleme auftreten werden. Dieses Problem muss zeitnah gelöst werden. In der Schweiz ist in den nächsten Jahren mit einem vermehrten Abbruch von neu errichteten Gebäuden (ab den 1950er Jahren) zu rechnen, da die neuen Anforderungen einer sich wandelnden Gesellschaft und die ursprünglich vorgesehenen, inzwischen überholten Nutzungen zunehmend inkompatibel werden. Dies könnte zu einer Zunahme der Bauabfälle führen, die durch eine geringere Recyclingquote und eine schwierigere Handhabung bei Abbruch- oder Sanierungsarbeiten gekennzeichnet sind, da verschiedene Materialien vermischt werden, die getrennt entsorgt werden müssen, was jedoch nicht immer möglich ist.

In diesem Sinne sollte besondere Aufmerksamkeit auf den Dämmstoffen gewidmet werden, deren Verwendung im Bauwesen nach der Ölkrise Ende der 70er Jahre und den daraufhin von der Schweiz ergriffenen Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs für die Beheizung von Gebäuden erheblich zugenommen hat. Diese wärme- und schalldämmenden Bauteile wurden in die damals gebräuchlichsten Bautechnologien integriert, wobei die Dicken schrittweise erhöht wurden, um die technischen Leistungen der Gebäudehülle und der inneren Trennwände zu verbessern.

Als Antwort auf das sich abzeichnende Problem schlägt das DeCO-Projekt die Entwicklung standardisierter Verfahren für den Rückbau und die Demontage von jüngeren Gebäuden vor. Innerhalb des DeCO ist die folgende Studie angesiedelt: Ausgehend von einer Zusammenfassung der historischen Entwicklung und einer gezielten Analyse der in Schweizer Gebäuden am häufigsten verwendeten Wärme- und Schallschutzprodukte liefert das Dokument die wesentlichen Informationen für den richtigen Umgang mit diesen Elementen im Falle eines Abbruchs. Sie zeigt, wie die verwendeten Dämmstoffe zu erkennen sind, in welchen Kombinationen sie in Gebäudeteile zu finden sind, welche Verfahren zu ihrer Entsorgung bisher zulässig sind und wie das Recyclingpotenzial in Bezug auf den Zustand des Materials am Ende seiner Lebensdauer aussieht. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass Voruntersuchungen notwendig sind, um das Vorhandensein von Schadstoffen und die Abbaubedingungen festzustellen, damit die Materialien nicht zu unbrauchbarem Abfall werden. Damit soll erkannt werden, ob sich die Materialien für eine selektive Trennung zur Energiegewinnung, zum Recycling/zur Wiederverwendung eignen oder ob sie einfach nur auf einer Deponie entsorgt werden sollen.

Abschliessend liefert die Studie wichtige Hinweise für den künftigen Abriss des baulichen Erbes ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Bei der Entsorgung von Bauabfällen müssen die Eigenschaften von Dämmstoffen berücksichtigt werden, die im Sinne einer möglichst nachhaltigen Behandlung richtig identifiziert, erkannt und dann zurückgebaut werden müssen.

6.1 Tecnologie di isolamento termico e acustico degli edifici

6.1.1 Isolamento termico

Dopo la crisi petrolifera di fine anni '70 del '900 si è assistito in Svizzera ad **una attività legislativa e normativa orientata a diminuire i consumi energetici per il riscaldamento degli edifici.**

Si è progressivamente regolamentata l'attività di costruzione prescrivendo **prestazioni di isolamento termico degli elementi costruttivi sempre maggiori.** Tale attività ha portato, come ordine di grandezza, ad un dimezzamento dei consumi degli edifici costruiti negli anni '90 rispetto allo standard costruttivo degli anni '70 e ad un ulteriore dimezzamento dei consumi dello standard costruttivo degli anni 2010 rispetto agli anni '90⁹.

A seguito della notevole diffusione degli standard Minergie nel decennio trascorso (che hanno dimostrato la fattibilità di raggiungere prestazioni energetiche anche superiori rispetto a quelle richieste dalla normativa) attualmente è in fase di implementazione progressiva nei Cantoni il **Modello delle Prescrizione energetiche dei cantoni (MoPEC 2014¹⁰).** Tale pacchetto di requisiti porteranno lo stato dell'arte della costruzione (edificio nuovi e risanamenti) a prestazioni energetiche vicino agli standard passivi e a zero energia, cioè edifici caratterizzati da bassissimi consumi energetici nei quali i consumi energetici residui vengono soddisfatti con uso e produzione in loco di fonti di energia rinnovabile.

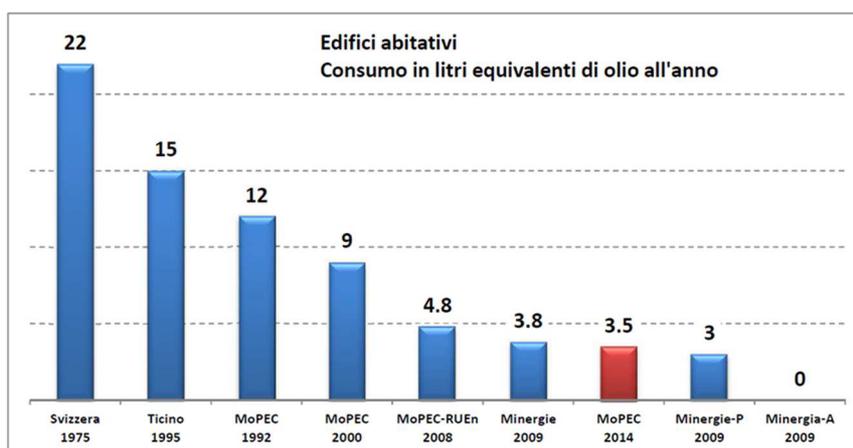


Figura 6 Consumo in litri equivalenti di olio all'anno per il riscaldamento per diversi periodi costruttivi e normative di settore Fonte: SUPSI, Agenzia Minergie

L'inasprimento dei requisiti normativi ha portato da un lato ad un netto miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, dall'altro ha comportato un'evoluzione delle tecnologie costruttive a causa degli spessori di isolamento termico sempre maggiori. Da pochi centimetri di isolamento termico si è arrivati ad oggi ad uno spessore medio di ca. 18 – 20 cm per l'involucro termico dell'edificio (elementi costruttivi con trasmittanza U di ca. 0.15-0.20 W/mq K).

Il netto miglioramento delle prestazioni termiche degli elementi costruttivi dell'involucro (partizioni verso l'esterno), ha comportato l'insorgere del fenomeno dei ponti termici (flussi di calore concentrati verso l'esterno in punti/zone dove vi è un indebolimento dell'isolamento termico). Per contrastare i problemi di fisica della costruzione che potrebbero sorgere in questi punti (p.e. condensazioni superficiali, muffe, macchie) si è proceduto progressivamente ad inserire **elementi di isolamento termico di separazione direttamente in getto** (p.e. taglio termico delle solette dei balconi o pannelli in soletta) quando la

⁹ Fonte: Agenzia Minergie, SUPSI.

¹⁰ <https://www.endk.ch/it/politica-energetica/mopec>

struttura portante si trova all'esterno (struttura fredda), oppure all'annullamento di questi ponti termici attraverso un **isolamento periferico della struttura** (cosiddette **facciate a cappotto**, struttura calda).

Progressivamente, si è proceduto anche a prevedere **ingenti spessori di isolamento termico (ad oggi, ca. 14 cm) per gli elementi costruttivi verso ambienti non riscaldati** (p.e. solette verso autorimesse, locali tecnici, depositi) per motivazioni di risparmio energetico e di fisica della costruzione (per evitare fenomeni di condensazione superficiale e per rispondere ad esigenze di maggiore comfort).

Infine, la progressiva diffusione dei sistemi di emissione del calore a bassa temperatura come le serpentine radianti, associata alle esigenze di conteggio delle spese di riscaldamento per le singole unità abitative e all'esigenza di regolazione differenziata delle condizioni climatiche interne di singoli locali o zone, ha portato alla comparsa di **isolamenti termici (materassini) posti sopra la soletta e sotto i sottofondi (betoncini)**, per spessori dell'ordine di grandezza di 2-4 cm anche per pavimenti tra ambienti riscaldati.

Si sottolinea che alcune tipologie di isolamenti termici sono presenti negli edifici considerando anche requisiti di protezione antincendio, come per esempio isolamenti termici in lana minerale sulle facciate o l'uso di isolamenti o impregnanti particolari per i soffitti delle autorimesse.

Ai fini del presente studio e del processo di decostruzione, si considerano come tecnologie costruttive e stratigrafie di riferimento e rappresentative quelle riportate nei *Cataloghi Calcolo del coefficiente U* e *Catalogo degli elementi costruttivi per risanamenti* edito dall'Ufficio Federale dell'energia nell'anno 2001 e il *Calcolo del coefficiente U e catalogo degli elementi costruttivi per nuovi edifici* pubblicato sempre dall'Ufficio Federale dell'energia nell'anno 2001. Tali cataloghi, ancora in uso presso i professionisti, riportano in modo ordinato e codificato sia soluzioni tecniche e stratigrafie diffuse nel parco immobiliare esistente in tutta la Svizzera, sia di riferimento per la progettazione di edifici nuovi.

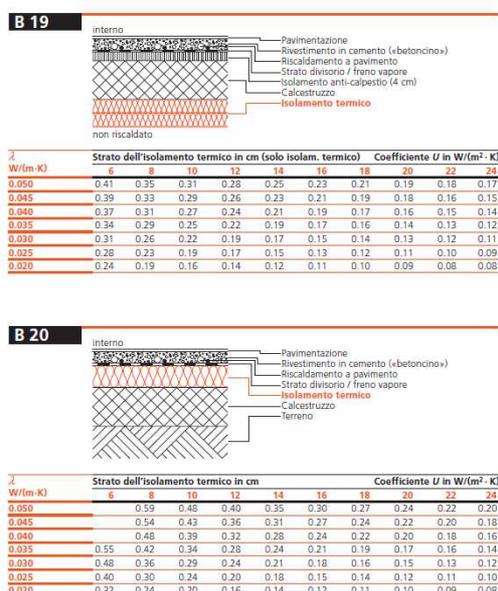


Figura 7 Estratto del catalogo degli elementi costruttivi dell'Ufficio federale dell'energia 2001. In tale catalogo sono riportati gli elementi costruttivi in modo ordinato e codificato

6.1.2 Isolamento acustico

Per quanto riguarda il tema delle **prestazioni acustiche** degli edifici, anche in questo caso si è assistito negli anni ad un progressivo **inasprirsi delle prescrizioni in tale ambito**^{11,12}.

La progettazione tecnologica degli elementi costruttivi degli edifici ha dovuto tenere conto progressivamente ed in modo sempre più importante delle **esigenze acustiche** riguardanti:

- Il **rumore aereo** esterno
- Il **rumore aereo** interno
- Isolamento del **calpestio**
- Rumore da **impianti**
- **Vibrazioni**
- Attenuazione del **riverbero**

Ai fini del presente studio, si segnala che **le prescrizioni in tale ambito si concretizzano dal punto di vista costruttivo con la posa e quindi la presenza in fase di decostruzione, di isolamenti in lane minerali o plastici con il fine di desolidarizzare tra loro gli elementi costruttivi e per migliorare le prestazioni acustiche**. Quindi si potranno trovare **isolamenti in lana minerale** in doppie pareti tra unità d'uso differenti all'interno negli edifici (p.e. tra appartamenti), oppure **membrane/guaine polimeriche come tappetini** sotto il betoncino/sottofondo delle solette risvoltati in aderenza alle pareti interne.

Per quanto riguarda l'attenuazione del riverbero, sono messi in opera **pannelli alveolati** sulla superficie dei locali interni (integrati o meno in pareti, soffitti o arredamento fisso), è possibile che tali pannelli contengano anche strati di isolamenti in fibre minerali.

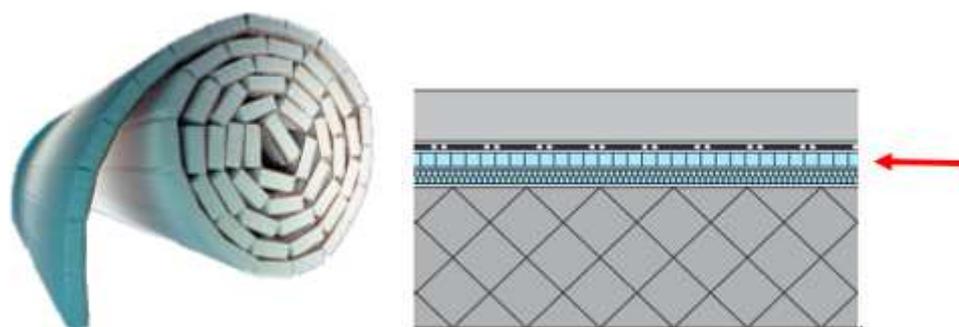


Figura 8 Esempio di isolamento plastico al calpestio steso sotto il sottofondo dei pavimenti per solette interpiano associato ad un ulteriore strato di isolamento termico plastico. Fonte: Swisspor.ch

11 Ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) del 15 dicembre 1986 (Stato 7 maggio 2019)
12 SIA 181:2006. La protezione dal rumore nelle costruzioni edilizie

6.1.3 Impianti

Le prescrizioni normative energetiche ed acustiche hanno influenzato la tecnica impiantistica presente negli edifici che si è evoluta.

Si elencano di seguito i **punti salienti e le considerazioni utili ai fini della decostruzione degli edifici** e della presenza di isolamenti termici, oggetto del presente rapporto:

- il miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici sia in inverno che in estate ha portato alla possibilità di erogare sempre minori potenze termiche di caldo e freddo negli edifici e quindi ad una **diminuzione della potenza degli impianti**;
- si è assistito ad un **aumento degli spessori di isolamento termico** richiesti dalle normative per le **canalizzazioni** d'aria e **tubazioni** di trasporto dei fluidi termovettori (dai 3 ai 12 cm per tubazioni e canalizzazioni);
- si è assistito ad una diffusione dei generatori di calore a **pompa di calore e dei sistemi di emissione del calore a bassa temperatura**;
- la diffusione del sistema di emissione del calore a **serpentine comporta l'annegamento dei tubi in materiale plastico nel betoncino delle solette**, associato ad uno strato di isolamento termico sottostante, tipicamente in materiale plastico di ca. 2 cm;
- negli edifici amministrativi, già caratterizzati da una importante presenza di impianti tecnici, il miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici, ha portato ad una tendenziale riduzione dei volumi d'aria e delle portate di acqua per la climatizzazione degli edifici. Quindi una riduzione in diametro di tubi e canalizzazioni.
- negli **edifici abitativi**, dalla fine degli anni '90 in poi, risultano sempre più comuni sistemi di **areazione controllata**¹³ degli ambienti che presuppongono l'annegamento dei tubi di distribuzione dell'aria in materiale plastico (ca. 90 mm) nelle solette in calcestruzzo.
- molte delle **canalizzazioni/tubazioni e componenti impiantistiche sono annegate in getti di calcestruzzo o transitano attraverso materiali cementizi**. Tale situazione ne rende difficoltosa la separazione in fase di demolizione/decostruzione;
- dagli anni 2000 in poi si è assistito ad una lenta diffusione dello standard di sostenibilità Minergie-ECO (ca. 1'800 edifici in Svizzera di cui ca. 30 in Ticino) che richiede un'attenta progettazione dell'edificio in modo da rendere gli impianti smontabili in fase di sostituzione/fine vita. Anche il nuovo Standard di Costruzione Sostenibile Svizzera SNBS prevede che gli impianti negli edifici debbano essere smontabili. La percentuale di tali edifici nel patrimonio edilizio esistente rimane comunque molto limitata.
- in generale, benché gli impianti siano più efficienti si nota una massiccia presenza di questi ultimi per aumentare le condizioni di comfort anche in destinazioni d'uso tradizionalmente non dotate di diverse installazioni differenti. Per esempio **si nota la presenza di impianti di raffreddamento e ventilazione**¹³ **negli edifici residenziali in aggiunta agli impianti di riscaldamento**.
- la diffusione dello sfruttamento di **fonti di energia rinnovabili** ha portato a **nuovi provvedimenti costruttivi** rispetto al passato come lo **scavo di sonde o pozzi** (per pompe di

¹³ Diffusi anche in conseguenza alla diffusione degli Standard di costruzione Minergie che richiedono la presenza di tali impianti di ventilazione

calore geotermiche o ad acqua di falda) e all'**installazione di nuovi impianti** (p.e. impianti solari)

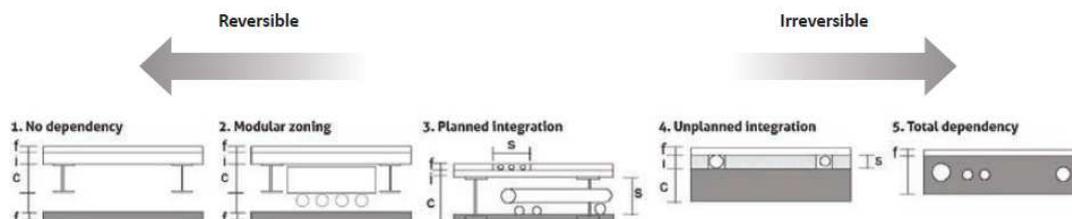


Figura 9 Tipi di integrazione impiantistica, soluzioni tecniche reversibili e irreversibili. La maggioranza degli edifici recenti adotta soluzioni di tipo irreversibile (annegamento degli impianti in sottofondi e in parti strutturali/in calcestruzzo). Fonte: Circular economy in construction – Design Strategies for reversible buildings. Dr. Elma Durmisevic. Bamb – Building as material bank. 2019

6.1.4 Tabella degli isolamenti

Si riporta di seguito un prospetto orientativo che consente di **determinare la possibile presenza di isolamenti ai fini termici e acustici per gli elementi costruttivi di edifici recenti**, corredato da un ordine di grandezza degli spessori riscontrabili:

Tabella 2 Prospetto sulla presenza di isolamenti ai fini termici/acustici negli elementi costruttivi degli edifici recenti e spessori attesi

SISTEMI COSTRUTTIVI			
Presenza isolamenti			
Elemento costruttivo		Isolamento termico	Isolamento acustico
Pareti	esterne	X 4 - 25 cm	
	interne		X fino a ca. 4 - 16 cm Ev. pannelli fonoassorbenti
	verso non riscaldato	X fino a ca. 14 - 16 cm	
Tetti	esterni	X 8 - 25 cm	
Solette	esterne	X 4 - 25 cm	
	interne	X 2 - 4 cm	X 2 - 4 cm
	verso non riscaldato	X fino a ca. 14 - 16 cm	
Impianti			
Tubazioni		X 3 ai 12 cm	
Canali di ventilazioni		X 3 ai 12 cm	
Serpentine a pavimento		X 2 - 4 cm	

6.2 Gli isolanti termici

6.2.1 Cenni storici e prospettive

I rifiuti isolanti hanno attualmente una bassa incidenza sui rifiuti edili visto che la maggior parte degli edifici demoliti attualmente appartiene ad epoche dove tali materiali erano poco o per nulla utilizzati.

In linea generale tutti gli studi di settore convergono su un previsto aumento di questo flusso di rifiuti in futuro, pertanto il presente lavoro riporta le opzioni di smaltimento e le potenzialità di riciclaggio dei rifiuti isolanti.

Lo scopo di questo lavoro è quello di considerare la presenza di rifiuti di isolamento nel patrimonio edilizio esistente per descrivere le vie di smaltimento attuali, considerare le principali problematiche e aprire prospettive di sviluppo.

Dati presenti in letteratura sul mercato dell'**isolamento termico in Europa**, importanti per poter riflettere sulla futura incidenza dei rifiuti isolanti relativamente alle diverse tipologie (sintetici, organici, inorganici), indicano che i **volumi attuali sono notevoli** (per esempio nel 2005 erano ca. **77 milioni di m³**)¹⁴ con previsioni di crescita. In generale dominano i **materiali isolanti in lana minerale (ca. 60%)**, di cui ca. 2/3 lana di vetro e 1/3 lana di roccia. I materiali isolanti in lana minerale sono particolarmente apprezzati in Francia (ca. 70% in volume di quota di mercato), Germania (ca. 55% di quota di mercato) e Gran Bretagna. **La proporzione di materiali isolanti sintetici è di ca. 40% in volume**, e sono preferiti in Spagna e in Italia.

I materiali isolanti rivestono un ruolo di accresciuta importanza fra i materiali da costruzione soprattutto in seguito all'evoluzione delle richieste sempre maggiori di contenimento dei consumi energetici degli edifici¹⁵.

Attualmente l'offerta di prodotti e materiali pensati per migliorare l'isolamento termico degli edifici offre una vasta disponibilità che è frutto di un percorso che ha avuto inizio tra gli anni '20 e '40 del 1900 con l'industrializzazione e produzione della lana di vetro, degli isolanti cellulari polimerizzati e delle resine fenoliche. L'impatto della seconda Guerra Mondiale e delle innovazioni messe a punto per scopi bellici, successivamente trasferite in altri settori industriali, tra i quali anche quello delle costruzioni, ha aumentato la possibilità di scelta dei prodotti.

La crescita economica, esplosa in particolare nel corso degli anni '60, porta alla messa a punto di nuovi sistemi di coibentazione che attingono in particolare dai settori della refrigerazione e dei trasporti. Nello stesso tempo lana di roccia e lana di vetro vedono un aumento degli impianti di produzione e si diffondono poliuretano e polistirene espanso. Nell'evoluzione dei prodotti per l'isolamento termico ai materiali espansi si aggiungono gli estrusi e le schiume, e successivamente si presta attenzione all'uso di materiali naturali (derivati del legno, isolanti naturali di origine animale, vegetale, ecc.)¹⁶.

Nella **Tabella 3** è riportata una **sintetica evoluzione dei principali materiali e prodotti isolanti**.

¹⁴ Papadopoulos A.M., "State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments", *Energy & Buildings*, vol. 37(1), Elsevier Science E.V, 2005.

¹⁵ Conti C., Rossetti M., "Ruolo dell'isolamento termico nel contenimento dei consumi energetici. Evoluzione e innovazione dei materiali e sistemi di isolamento termico in edilizia", in *ARS*, n. 118, Luglio-Settembre 2008, pp. 6-16.

¹⁶ Conti C, Rossetti M., "L'innovazione nascosta", in *Costruire*, n. 291, Settembre 2007, pp. 94-98.

Tabella 3 Aspetti rilevanti nell'evoluzione di materiali e prodotti isolanti.

Anni	Fino al 1945	'45-'54	'55-'63	'64-'77	'78-'96	'97-'07
Materiali e prodotti isolanti						
Materiali fibrosi (lana di vetro e di roccia, fibre di legno, di ceramica, di cellulosa e di cocco)	1920 produzione e commercializzazione della lana di vetro 1931 commercializzazione prodotti in fibra di legno	Impiegati correntemente per isolare gli impianti. (In CH inizia la produzione di lana di roccia ('50), nel 1972 nasce Flumroc AG, dal 2017 fa parte di Rockwool. Anche Sager AG inizia la sua attività nel 1949).	In IT nascono numerosi stabilimenti di produzione di lana di vetro e di roccia.	Impiego diffuso di lana di vetro e lana di roccia.	Messa a punto di nuovi brevetti. Presenza di coscienza dei problemi nocivi dell'amianto e delle fibre libere. (Sager AG inizia la produzione di lana di vetro SAGLAN 1978).	Messa a punto di nuovi sistemi di produzione. Nascita di prodotti alternativi in risposta ai problemi sulla sicurezza delle fibre. Sono messi a punto nuovi componenti in fibre naturali.
Materiali cellulari (polistirene, poliuretano, resine)	Anni '30 industrializzazione tedesca e americana dei cellulari polimerizzati. Anni '30 produzione di resine ureiche. Anni '40 produzione resine fenoliche.	Polistirene (polistirolo) impiegato correntemente per isolare gli elettrodomestici. Anni '50 prime applicazioni del polistirene nell'edilizia. Sviluppo del mercato delle resine. (Anche Sager AG inizia la sua attività e nel 1954 produce SAGEX).	Viene brevettato il poliuretano espanso. Settore polistirene e del poliuretano in espansione in diversi settori di applicazione (trasporti, refrigerazione, aereospaziale, imballaggi).	Impiego diffuso dei materiali espansi e successivamente degli estrusi. Inizia diffusione uso resine con funzione isolante, soprattutto sotto forma di schiume.	Introduzione della sinterizzazione, quindi abbattimento costi di produzione.	Le produzioni perseguono politiche di qualità: normative di riferimento per marcatura CE. Introdotti nuovi agenti espandenti in sostituzione dei CFC. Attenzione crescente al comportamento al fuoco.
Materiali porosi naturali (perlite, argille, pomice, sughero)	Noti già dalle civiltà antiche.	Sughero applicato per coibentare celle frigorifere dei aerei e treni.	Argilla espansa utilizzata come riempimento e sottofondo. In Germania iniziano ad essere prodotti e impiegati.		Messa a punto di nuovi prodotti e diffusione di prodotti quali per es. il laterizio alveolare. Il sughero diviene prodotto industriale per l'edilizia.	Sviluppo di materiali porosi che hanno requisiti di ecocompatibilità.

Fonte: Conti C, Rossetti M., "L'innovazione nascosta", in *Costruire* n. 291, settembre 2007. Il testo in azzurro è stato inserito dagli autori del presente rapporto per comparazione con la situazione Svizzera.

Sono stati fatti molti progressi nel mercato dell'isolamento termico; si possono citare quali principali fattori di innovazione:

- miglioramento delle tecnologie di produzione (aumento della produttività e riduzione dei costi);
- approfondimento della conoscenza delle basi fisiche del funzionamento degli isolanti;
- istituzione di un sistema di controllo della qualità per garantire le prestazioni dei prodotti (pubblicazione di standard sulle proprietà e metodi di misurazione, procedure di controllo e certificazione).

La crisi energetica di inizio anni '70 porta una sempre maggiore spinta verso il contenimento dei consumi energetici e l'affermarsi di una consapevolezza del benessere termico all'interno degli edifici. I provvedimenti sull'efficienza energetica (anni '90) hanno promosso interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente e la realizzazione di edifici con sistemi di isolamento per il miglioramento della resistenza termica degli involucri che, in passato, erano poco o per nulla considerati. La coibentazione degli involucri edilizi diventa irrinunciabile e con obiettivi prestazionali sempre più performanti richiesti dalle normative.

La tabella 1 della norma SIA 279 propone una lista degli isolanti termici usuali. Interessante è il confronto tra la versione edita nel 1988 (Figura 10) e quella del 2000 (Figura 11): nella versione del 1988 i materiali sono classificati in base alla loro origine e struttura, nel 2000 la classificazione è più articolata e dettagliata.

Liste des matériaux usuels

TABLEAU 1
Isolants thermiques courants

Matériaux	Valeurs indicatives de la masse volumique apparente en kg/m ³
Matériaux fibreux inorganiques	
Panneaux:	20 ... 200
- Laine de pierre	16 ... 140
- Panneaux comprimés en fibres minérales	200 ... 400
Matelas et feutres:	
- Matelas en laine de pierre	20 ... 120
- Matelas et feutres en fibre de verre	10 ... 50
En vrac:	
- Laine de pierre	60 ... 180 ¹⁾
- Fibre de verre	30 ... 70 ¹⁾
Matériaux fibreux organiques	
Planches de roseaux	150 ... 200
Matelas de fibres de coco	50 ... 100
Liège	
Panneaux:	100 ... 150
- Panneaux de liège expansé	
Nattes:	100 ... 150
- Nattes de granules de liège	
Liège en vrac:	
- Granules de liège à l'état naturel	80 ... 160
- Granules de liège expansé	40 ... 100
Matériaux inorganiques expansés	
Panneaux:	100 ... 180
- Verre cellulaire	170 ... 200
- Perlite agglomérée avec des fibres organiques, comprimée	
Matériaux en vrac:	
- Perlite, vermiculite	50 ... 130 ¹⁾
Mousses organiques	
Panneaux:	15 ³⁾ ... 80
- Polystyrène (PS) expansé	20 ... 80
- Polystyrène (PS) extrudé	30 ... 80
- Polyuréthane (PUR)	30 ... 80
- Polysocyanate (PIR)	30 ... 80
- Polyéthylène (PE)	30 ... 50
- Urée-formaldéhyde (UF)	6 ... 20
- Phénol-formaldéhyde (PF)	30 ... 100
- Chlorure de polyvinyle (PVC)	50 ... 100
Matériaux ligneux	
Panneaux:	150 ... 300
- Panneaux de fibres de bois poreux	
- Panneaux de laine de bois	350 ... 600

¹⁾ Densité après bourrage, densité en vrac
²⁾ Pour les panneaux d'isolation aux bruits d'impact, des valeurs plus basses de la masse volumique apparente sont également usuelles

Tableau 1 Valeurs utiles pour calculs de physique du bâtiment

Matériau	Masse volumique nominale ρ_n kg/m ³	Conductivité thermique Valeur déclarée λ_D (voir chapitre 2)		Facteur de résistance à la diffusion μ
		contrôlée ¹⁾ W/(m·K)	non contrôlée W/(m·K)	
Laine de verre panneaux, matelas, rouleaux en vrac	10-120 30-100	0.031-0.048 ²⁾	0.055 0.060	- 2 1-2
Laine de roche panneaux, matelas, rouleaux en vrac	15-200 30-100	0.034-0.048 ²⁾	0.055 0.060	2 1-2
Verre cellulaire panneaux en vrac	100-150 250-450	0.040-0.055 ²⁾	0.064 0.094	∞ 1-2
Perlite, vermiculite: en vrac	50-130	²⁾	0.084	1-2
Polystyrène expansé (EPS)	30-15	0.032-0.042	0.048	60-40
Polystyrène extrudé (XPS) cellules contenant un gaz isolant cellules contenant de l'air	25-65 25-65	0.028-0.036 0.034-0.038	0.043 0.046	80-220 ⁴⁾ 80-220 ⁴⁾
Polyuréthane (PUR) et polysocyanurate (PIR) cellules contenant du pentane étanche à la diffusion ⁵⁾ perméable à la diffusion cellules contenant du CO ₂	28-55 28-55 35-60	0.022-0.027 0.026-0.033 0.032-0.038	0.032 0.037 0.046	∞ 30-150 ⁴⁾ 30-100 ⁴⁾
Liège: panneaux, matelas	90-160	0.040-0.047	0.056	10-30
Laine de bois panneaux panneaux de construction légers parements de panneaux multicouches ⁶⁾	30-150 250-450	0.067-0.089 ²⁾	0.107 0.095	3 3
			0.15 0.125 0.10	1-2 1-2 1-2
Panneaux de fibres de bois	120-300 300-600	0.044-0.065 ²⁾	0.080 0.110	5-10 15-40
Cellulose panneaux en vrac	²⁾ 30-80	²⁾	0.065 0.060	²⁾ 1-2
Matériaux isolants d'origine végétale panneaux à fibres plates panneaux de roseaux matelas de fibres de coco coton	25-35 150-200 50-100 > 25	²⁾ ²⁾ ²⁾ ²⁾	0.055 0.072 0.066 0.055	1-2 1-2 1-2 1-2
Matériaux isolants d'origine animale laine de mouton	20-60	²⁾	0.055	1-2

¹⁾ Ces valeurs se réfèrent aux produits disponibles sur le marché (voir aussi cahier technique 2001). Des valeurs inférieures et supérieures sont également possibles. La valeur déclarée spécifique au produit est déterminante (certificat de contrôle indispensable).
²⁾ Valeur actuellement non encore définie ou trop peu de données à disposition
³⁾ Les parements sont réputés étanches à la diffusion de gaz lorsqu'ils sont constitués, par exemple, de matériaux métalliques d'une épaisseur minimale de 50 µm. Pour des panneaux dont la surface des chants est inférieure à 10% de la surface totale, le parement ne doit pas recouvrir les chants, pour des panneaux dont la surface des chants est inférieure à 15% de la surface totale non plus, pour autant que:
a) la largeur des panneaux soit de 600 mm au minimum, et
b) la structure cellulaire comporte au minimum 95% volumique de cellules fermées, selon ISO 4590, méthode 2.
⁴⁾ Variable en fonction de l'épaisseur (diminue lorsque l'épaisseur augmente)
⁵⁾ Variable en fonction de la masse volumique, de la technique de fabrication et du genre de parement.
⁶⁾ La résistance thermique des panneaux isolants multicouches en laine de bois se calcule en additionnant les résistances thermiques des différentes couches. Pour calculer la résistance thermique des parements, on utilisera les valeurs de conductivité données dans la colonne «non contrôlée».

Figura 10, Norma SIA 279:1988, pagina 5.

Figura 11 Norma SIA 279:2000, pagina 10.

Uno studio dei materiali isolanti nel patrimonio edilizio svizzero¹⁷ indica che sono utilizzati principalmente fibra di vetro, lana di roccia, EPS, XPS e PUR. In particolare nell'inventario dei materiali isolanti risulta che gli isolanti minerali in fibra di vetro (10 milioni di m³) e lana di roccia (11 milioni di m³) da un lato e i materiali isolanti a base di petrolio EPS (12 milioni di m³), PUR (2 milioni di m³) e XPS dall'altro hanno un peso rilevante (4 milioni di m³). L'inventario indica che negli anni '80 è stato utilizzato anche il sughero quale materiale isolante. Per ogni periodo di costruzione e tipologia di costruzione (nuova costruzione o ristrutturazione) si assume che siano stati utilizzati differenti materiali isolanti in proporzioni variabili come mostra la Figura 12

I materiali usati per l'isolamento termico nelle costruzioni variano in funzione dell'anno di costruzione dei manufatti o di ristrutturazione. La conoscenza di questo parametro è significativa e può diventare discriminante per mettere in atto strategie di decostruzione più o meno spinte. Per quanto concerne gli isolanti termici ci sono anni, che potremmo definire di soglia, che identificano materiali prodotti utilizzando sostanze pericolose e per questo da trattare con opportune modalità (si veda capitolo 6.4).

¹⁷⁾ Jakob M., Rubli S., "Urban Mining Potenzial, Dämmmaterialien im Gebäudepark der Schweiz Eine Bestandesaufnahme", Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai 2016.

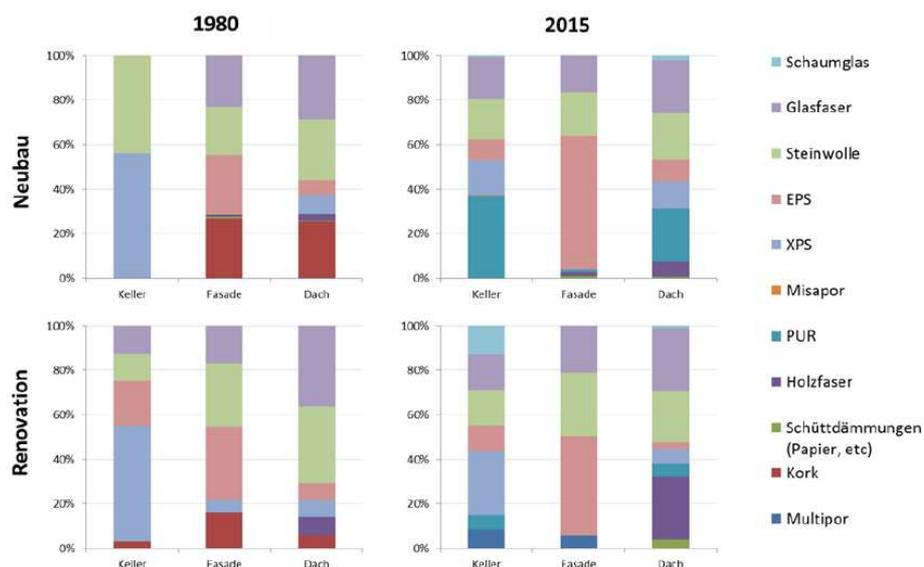


Figura 12 Ipotesi sulle proporzioni di utilizzo delle diverse frazioni di materiale isolante per nuove costruzioni e ristrutturazioni, nel 1980 e nel 2015, fonte: Jakob M., Rubli S., Urban Mining Potenzial, Dämmmaterialien im Gebäudepark der Schweiz Eine Bestandesaufnahme, Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai 2016.

Uno studio recente¹⁸ mostra che, **sebbene trascurabili in termini di massa, i materiali usati per l'isolamento termico degli edifici sono rilevanti in termini di impatti ambientali**. Per esempio nei materiali isolanti a base di petrolio, a causa dell'uso di un ritardante di fiamma (HBCD esabromociclododecano) il riciclo è ancora raro in Svizzera¹⁹. L'HBCD è un inquinante organico persistente (POP) ed è stato vietato l'uso come ritardante di fiamma nei materiali isolanti a partire dal 2015²⁰. Questa condizione per esempio è un ostacolo al riciclaggio, tuttavia ci sono progetti di ricerca in corso (si veda scheda *Polystyrene-loop*) che affrontano questa problematica e propongono soluzioni.

Attualmente sono disponibili solo quantità relativamente piccole di materiale isolante proveniente da demolizione e ristrutturazione. Tuttavia, nel medio-lungo termine sono da attendersi quantitativi in forte aumento. Per poter far fronte a ciò in futuro, devono essere sviluppate nuove strategie sia per lo smantellamento dei materiali che per lo smaltimento di questi rifiuti, cercando di implementare il riciclo dei materiali (ritorno alla produzione) o il riuso (riutilizzo con la stessa funzione o funzioni modificate per applicazioni specifiche).

Quando si tratta di smaltimento, sono principalmente i rifiuti di nuove costruzioni e ristrutturazioni che vengono restituiti alla produzione, perché frutto di scarti di lavorazione a nuovo e quindi materiale pulito. Mentre il materiale proveniente dalla demolizione viene principalmente inviato all'impianto di incenerimento dei rifiuti. Questa pratica, per materiali isolanti quali di EPS, XPS e PUR, richiede bassi requisiti di pulizia e ammette la presenza di corpi estranei, nonché la rimozione dell'esabromociclododecano (HBCD). Lo svantaggio è che i materiali di base EPS / XPS / PUR vengono distrutti e non rientrano un'economia circolare.

¹⁸ Heeren N., Hellweg S., "Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows", in *Journal of Industrial Ecology*, 23, 2018.

¹⁹ Brupbacher A., Rubli S., "Entsorgungssituation von Dämmmaterialien in der Schweiz", Bundesamt für Umwelt BAFU, Berna, 2016.

²⁰ Kasser U., Kligler M., Savi D., "HBCD als Flammschutz in Polystyrol – Zusammenfassung", scheda redatta per conto di Hochbauten der Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Zürich, 20, Dezember 2013

Nie Z., Yang Z., Fang Y., Yang Y., Tang Z., Wang X., Die Q., Gao X., Zhang F., Wang Q., Huang Q., "Environmental risks of HBCDD from construction and demolition waste: a contemporary and future issue", in *Environ Sci Pollut Res Int.*, November 2015.

Per aumentare il tasso di riciclaggio sono necessari ulteriori sforzi e questo studio si può considerare un primo passo in questa direzione. Nell'ottica della futura demolizione di questo patrimonio costruito il concetto di smaltimento dei rifiuti edili deve tener conto delle peculiarità dei materiali isolanti perseguendo essenzialmente tre obiettivi:

- 1) **riconoscere i materiali utilizzati**, distinguerli da quelli potenzialmente pericolosi per trattarli di conseguenza.
- 2) **adottare tecniche di demolizione orientate allo smontaggio/separazione** per evitare di mescolare diversi materiali e ottenere monofrazioni pulite.
- 3) **promuovere possibili alternative di valorizzazione dei materiali** (riuso o riciclo) per sviluppare nuovi mercati e filiere di economia circolare.
- 4) **prendere in considerazione le possibilità di “fine vita” dei materiali isolanti già in fase di progettazione**, eliminando gradualmente materiali tossici (per l'ambiente e l'uomo) e aumentando utilizzo di materiali rinnovabili²¹.

Nei paragrafi che seguono vengono fornite alcune informazioni essenziali per conoscere e trattare adeguatamente questi materiali in caso di smantellamento. In particolare sono date indicazioni di quali materiali isolanti sono utilizzati e delle loro principali caratteristiche, in che combinazioni si possono trovare (stratigrafia elementi costruttivi) e quali metodi di smaltimento sono oggi consentiti, nonché potenzialità di riciclaggio e approcci tecnologici esistenti o che sono in fase di sviluppo.

²¹ Wiprächtiger M., Haupt M., Heeren N., Waser E. and Hellweg S., “A framework for sustainable and circular system design: development and application on thermal insulation materials”, in *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 154, March 2020.

6.2.2 Panoramica dei materiali isolanti e delle tecniche di posa

Un tema da tenere in considerazione quando si intendono attuare strategie di decostruzione, è che un prodotto altamente riciclabile in una soluzione non smontabile rende la sua riciclabilità inutile.

Un caso emblematico di questa eventualità è quello dei materiali isolanti.

Di fatto, essi possono essere composti e/o assemblati con altri (colle, bordure, strati di intonaco, strati impermeabilizzanti/barriere al vapore, pannelli sandwich, ecc.) e pertanto presentare dei problemi di contaminazione secondaria e di separazione.

In questi casi le problematiche di separazione sono di diversa natura:

- operativa, ovvero difficoltà nel separare i diversi materiali;
- tecnica, ovvero identificare tutti gli strati/componenti e discriminare quelli che eventualmente possono contenere sostanze nocive.

La posizione dell'isolamento termico, il tipo di materiale, il relativo spessore e le tecniche di posa sono informazioni fondamentali per poter procedere con una valutazione delle potenzialità di decostruzione di un edificio esistente che presenta materiali isolanti.

Pertanto, nei paragrafi che seguono sono fornite le informazioni ritenute essenziali²².

6.2.2.1 Tecniche di posa

In un involucro edilizio l'isolamento termico può presentarsi in tre modi:

- come **isolamento esterno**, mediante la tecnica a "cappotto" che prevede la posa dell'isolante lungo tutta la superficie esterna dell'involucro dell'edificio;
- come **isolamento intermedio**, che prevede il riempimento delle eventuali cavità presenti nell'involucro edilizio mediante materiale isolante;
- come **isolante interno** (cappotto interno), tecnica mediante la quale si rivestono le superfici interne dell'edificio.

Le tecniche di posa degli isolanti termici possono comprendere:

- l'**insufflaggio**, ovvero l'uso di materiali sciolti (per es.: perlite, vermiculite, fiocchi di cellulosa, fiocchi di lana di roccia, ecc.) che vengono iniettati per riempire le cavità presenti o punti particolarmente difficili da raggiungere;
- l'**incollaggio**, ovvero il fissaggio con collante e/o tasselli di lastre/pannelli/feltri a supporti strutturali e il successivo rivestimento con strati di protezione superficiali;
- la **posa con sistemi a secco**, per cui i diversi strati e materiali vengono accoppiati/montati mediante giunzioni reversibili (incastri, serraggi meccanici, ecc.), fino a soluzioni con pannelli sandwich prefabbricati.

Per fornire indicazioni utili alla decostruzione di involucri edilizi che presentano strati di isolamento termico, nelle figure che seguono sono riportati alcuni esempi delle comuni tecniche di posa.

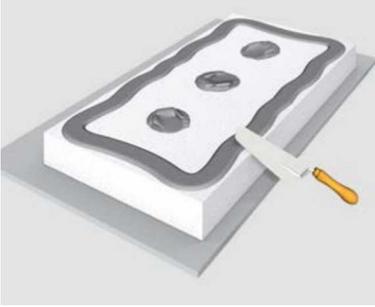
La pratica di installazione più diffusa che prevede il materiale isolante sia incollato non favorisce una separazione ottimale e impedisce una separazione rapida e senza residui dei materiali isolanti dal resto del sistema.

Opportunità di riciclo/riuso possono essere sviluppate nel caso della messa in opera a secco tramite incastro, avvvitamento, ecc. che sono tecniche che permettono una miglior separazione durante la

²² Per la raccolta delle informazioni e delle immagini si è fatto riferimento al quadro normativo, alla letteratura tecnica e scientifica e alla documentazione dei produttori.

decostruzione dell'edificio. Oppure, ancora, prevenendo strati di separazione tra i diversi materiali per facilitarne la rimozione e separazione.

Tabella 4: esempi di tecniche di posa di materiali isolanti

<p>Tecniche di posa pannelli con stesura del collante sul retro: a letto pieno o con cordolo perimetrale e punti. (Immagini tratte da: Manuale di posa Fassabortolo)</p>	<p>Stesura del collante su tutta la superficie del pannello, tramite spatola dentata.</p> 	<p>Stesura del collante con metodo a cordolo perimetrale e punti.</p>  
<p>Tecnica di posa di pannelli in lana minerale e rivestimento con intonaco.</p>		
<p>Tecniche di posa a secco di pannello rigido in lana minerale.</p>	<p>Isolamento esterno parete in lana di roccia (Rockwool).</p>  <p>Isolamento esterno: lana di vetro frapposta tra blocchi di cls.</p> 	<p>Isolamento interno in lane minerali.</p>  
<p>Messa in opera mediante insufflaggio di materiale sciolto.</p>	<p>Perlite espansa</p> 	

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

	<p>Fiocchi in lana di vetro</p> 	
<p>Schiuma di resina poliuretanica messa in opera mediante insufflaggio.</p>	 	 
<p>Facciata ventilata: incollaggio per punti dei pannelli in XPS e rivestimento con elementi metallici.</p>		

6.2.2.2 Materiali isolanti

I materiali isolanti hanno caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche differenti. Hanno anche impatti ambientali diversi in base al loro ciclo di vita (dalla produzione alla dismissione)²³.

Nel presente studio si sono considerati i materiali isolanti che rappresentano la percentuale più significativa di materiali venduti e installati in Svizzera. Tra i più diffusi troviamo: pannelli in polistirene (espanso o estruso) e lana di roccia, tuttavia, in uso ci sono anche: lana di vetro, fibra di legno minerale, lana di legno, vetro cellulare e sughero. Nel presente studio non sono considerati i materiali isolanti che rientrano nella categoria degli isolanti naturali (bio-rinnovabili come per es. canapa, cellulosa, ecc.) e quelli innovativi ad alte prestazioni²⁴ di recente sviluppo come per esempio: pannelli isolanti sottovuoto (VIP), aerogel. Queste tipologie, al momento, non rappresentano una percentuale significativa di installazioni.

Nell'abaco (Tabella 5) sono elencati gli isolanti termici più diffusi per la realizzazione della protezione termica degli edifici. L'abaco fornisce una sintesi delle informazioni che sono state ritenute essenziali nell'ambito di questo progetto, in particolare:

- la classificazione²⁵ degli isolanti in base all'origine²⁶, natura²⁷ e struttura²⁸;
- una sintetica descrizione dei processi di produzione e delle materie prime con cui sono realizzati;
- indicazioni sulle forme con cui vengono commercializzati, i colori più diffusi e una prima indicazione sulle incorporazioni, ovvero con quali altri componenti/materiali solitamente si mettono in opera.

Tabella 5 Materiali isolanti: classificazione e descrizione.

Materiale Isolante termico	Classificazione			Descrizione / materie prime / possibili incorporazioni
	Origine	Natura	Struttura	
EPS Polistirene espanso (polistirol)	ORGANICO	SINTETICO	CELLULARE	<p>Polimero termoplastico non reticolato (polimerizzazione dello stirene ricavato dal benzolo vinilico).</p> <p><u>Materie prime:</u> petrolio, agenti espandenti. (pentano e CO₂), ignifughi.</p> <p><u>Forme dei prodotti:</u> pannelli, blocchi, sfusi.</p> <p><u>Colore:</u> bianco, grigio.</p> <p><u>Incorporazione:</u> possono essere rivestiti. Possono essere applicati con malte colla ai supporti e fissati con tasselli solitamente in plastica.</p>



²³ Papadopoulos A.M., Giama E., "Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building", in *Building and Environment*, vol. 42 (5), May 2007, pp. 2178-2187.

²⁴ Fraunhofer IRB Verlag, "Neue Materialien im Bauwesen Kurzberichte zu den Verbundforschungsvorhaben aus den Förderinitiativen HighTechMatbau und KMU-innovativ", Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb), Berlino, 2021.

²⁵ In letteratura i materiali isolanti sono per convenzione classificati, si veda per esempio Langlais C., Klarsfeld S., "Isolation thermique a temperature ambiante. Classification des isolants", in *Techniques de l'Ingenieur. Genie Energetique*, vol. BE6, Francia, 2008, pp. BE9858.1-BE9858.12.

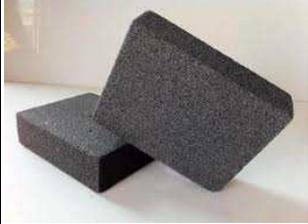
²⁶ Organico e inorganico a seconda se il materiale presenti o meno carbonio nella propria composizione chimica.

²⁷ Sintetico o naturale a seconda se la materia prima deriva dal petrolio o se deriva da materiali di origine naturale.

²⁸ Cellulare o Fibroso a seconda se la conformazione e a celle o a fibre.

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Materiale Isolante termico	Classificazione			Descrizione / materie prime / possibili incorporazioni	
	Origine	Natura	Struttura		
XPS Polistirene estruso	ORGANICO	SINTETICO	CELLULARE	<p>Polimero termoplastico non reticolato (polimerizzazione dello stirene ricavato dal benzolo vinilico). <u>Materie prime:</u> petrolio, agenti espandenti (pentano e CO₂), ignifughi (base di bromo). <u>Forme dei prodotti:</u> pannelli. <u>Colore:</u> azzurro, verde, bianco, nero, giallo <u>Incorporazione:</u> possono essere rivestiti. Possono essere applicati con malte colla ai supporti e fissati con tasselli solitamente in plastica.</p>	
PUR Poliuretano espanso (anche acustico)	ORGANICO	SINTETICO	CELLULARE	<p>Polimero termoindurente con reticolazione a maglia stretta (celle chiuse). <u>Materie prime:</u> poliolo e toluene di isocianato e agenti espandenti. <u>Forme dei prodotti:</u> pannelli, schiume, coppelle. <u>Colore:</u> giallo. <u>Incorporazione:</u> può essere rivestito completamente (pannelli sandwich), può essere accoppiato per es. con guaine impermeabilizzanti.</p>	
Lana di vetro (anche acustico)	INORGANICO	NATURALE (minerale)	FIBROSO	<p>Fusione della miscela vetrificabile, centrifugazione e polimerizzazione delle resine termoindurenti. <u>Materie prime:</u> vetro riciclato e aggiunte (sabbia quarzosa, calcare, carbonato di sodio e boro). <u>Forme dei prodotti:</u> rotoli, pannelli, coppelle, sfusa. <u>Colore:</u> giallastra (avorio, bianco, marrone) <u>Incorporazione:</u> usata anche accoppiata con altri materiali come barriere al vapore, cartongesso, ecc.</p>	
Lana di roccia (anche acustico)	INORGANICO	NATURALE (minerale)	FIBROSO	<p>Fusione delle materie prime (basalto, dolomite, diabase), sfibratura, centrifugazione o soffiatura con aggiunta di olii e resine (fenolo-formaldeide). <u>Materie prime:</u> roccia basaltica e aggiunte (calcare, coke e briquette). <u>Forme dei prodotti:</u> rotoli, pannelli, coppelle, sfusi. <u>Colore:</u> giallo-verde <u>Incorporazione:</u> usata anche accoppiata con altri materiali come barriere al vapore, polietilene, alluminio, ecc.</p>	

Materiale Isolante termico	Classificazione			Descrizione / materie prime / possibili incorporazioni	
	Origine	Natura	Struttura		
Fibra di legno mineralizzata	ORGANICO	NATURALE (vegetale)	FIBROSO	<p>Impregnazione e pressione delle fibre di legno con cemento e leganti minerali.</p> <p><u>Materie prime:</u> fibra di legno (pioppo o abete rosso), cemento o magnesite.</p> <p><u>Forme dei prodotti:</u> pannelli.</p> <p><u>Colore:</u> grigio tortora, vari.</p> <p><u>Incorporazione:</u> possono essere accoppiati con altri pannelli (es.: lana di legno).</p>	
Vetro cellulare espanso	INORGANICO	NATURALE (minerale)	CELLULARE	<p>Polverizzazione delle materie prime e fusione, a cui si aggiunge un propellente del carbonio. Segue procedura di ossidazione che fa espandere il materiale e poi processo di raffreddamento.</p> <p><u>Materie prime:</u> vetro riciclato, sabbia quarzosa (altre aggiunte: carbonato di calcio, feldspato potassico, ossido ferroso, carbonato di sodio).</p> <p><u>Forme dei prodotti:</u> pannelli rigidi e sfuso in perle espanse.</p> <p><u>Colore:</u> grigio scuro (nero).</p> <p><u>Incorporazione:</u> può essere trattato con collanti bituminosi o a base di resina sintetica.</p>	
Fibre/Lana di legno (anche acustico)	ORGANICO	NATURALE (vegetale)	FIBROSO	<p>Impasto delle fibre con acqua, bollitura, essiccazione (infeltrimento delle fibre). Non sono usati leganti contenenti formaldeide o isocianati ma vengono sfruttate le proprietà autocollanti della materia prima.</p> <p><u>Materie prime:</u> scarti della lavorazione di segherie e fabbriche.</p> <p><u>Forme dei prodotti:</u> pannelli e fibre sfuse.</p> <p><u>Colore:</u> marrone</p> <p><u>Incorporazione:</u> può essere utilizzato anche accoppiato con altri materiali per es.: cartongesso, lana di roccia, ecc.</p>	
Sughero agglomerato, espanso (anche acustico)	ORGANICO	NATURALE (vegetale)	CELLULARE	<p>Triturazione, cottura, pressatura, aggregazione grazie le resine naturali (suberina) liberate durante la cottura.</p> <p><u>Materie prime:</u> corteccia della quercia da sughero.</p> <p><u>Forme dei prodotti:</u> sfuso granulato, pannelli, fogli.</p> <p><u>Colore:</u> biondo o bruno</p> <p><u>Incorporazione:</u> può venire accoppiato con altri materiali quali catrame, colle, ecc.</p>	

In relazione alle proprietà, a volte molto diverse, dei singoli materiali isolanti, che non sono direttamente correlati all'effetto isolante (conducibilità termica), essi non possono essere utilizzati allo stesso modo per ogni installazione. Pertanto, la **Tabella 6 elenca le principali applicazioni e i parametri caratteristici dei materiali isolanti selezionati per questo studio**. In particolare, si è ritenuto di evidenziare quelle caratteristiche che possono essere utilizzate in una fase di acquisizione di conoscenza del materiale preliminare alla definizione delle strategie di decostruzione/demolizione selettiva. Non sono dunque indicate le prestazioni termiche (o acustiche).

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Si precisa che queste informazioni possono variare a seconda del prodotto e della letteratura, quindi nella maggior parte dei casi è possibile specificare solo intervalli di prestazione. Dati tecnici dettagliati dei materiali isolanti possono essere reperiti nelle schede tecniche di prodotti commerciali messe a disposizione dai produttori.

Tabella 6 Materiali isolanti: peculiarità, applicazioni e proprietà principali.

Materiale Isolante termico	Peculiarità	Applicazioni	Proprietà
Polistirene espanso EPS	<p>Materiale rigido e di peso ridotto, con struttura a celle aperte.</p> <p>È impermeabile all'acqua e non permette scambi di vapore. Assorbe acqua per capillarità</p> <p>È imputrescibile e resiste agli attacchi da agenti biologici.</p> <p>Deve essere protetto dai raggi UV che infragiliscono il materiale.</p> <p>Non resiste alle sollecitazioni a compressione.</p> <p>È combustibile, brucia velocemente.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento esterno a cappotto. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione -tetto caldo-) o sopra -tetto rovescio-). Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p> <p><u>Solaio controterra:</u> Controterra interno.</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 15-30 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> $\delta = 2.5 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$ (in campo secco) $\delta = 6 \cdot 10^{-10} \text{ kg/msPa}$ (in campo umido)</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 20-100$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 60-200 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse E</p> <p><i>Assorbimento d'acqua per immersione totale:</i> $WL(T) \leq 3\%$</p>
Polistirene estruso XPS	<p>Materiale rigido e di peso ridotto, con struttura a celle chiuse.</p> <p>Ha un'elevata resistenza alle sollecitazioni di compressione e all'umidità.</p> <p>È un materiale impermeabile, imputrescibile e resiste agli attacchi da agenti biologici.</p> <p>Possiede un'elevata resistenza alla diffusione al vapore acqueo.</p> <p>È combustibile, brucia velocemente.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a cappotto. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione -tetto caldo- o sopra -tetto rovescio-). Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p> <p><u>Solaio controterra:</u> Controterra interno. Controterra esterno.</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 25-65 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> n.a.</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 50-200$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 150-700 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse E</p> <p><i>Assorbimento d'acqua per immersione totale:</i> $WL(T) \leq 0.7\%$</p>
Poliuretano espanso PUR	<p>Materiale elevata resistenza alle sollecitazioni di compressione.</p> <p>È un materiale poco traspirante al vapore acqueo, poco igroscopico e non assorbe acqua per capillarità.</p> <p>È imputrescibile e resiste agli attacchi da agenti biologici.</p> <p>Possiede differenti comportamenti al fuoco in base al tipo di schiuma e alla natura dei rivestimenti.</p> <p>Nella messa in opera delle schiume è irritante per la pelle, gli occhi e le vie respiratorie, emissioni che svaniscono quando il prodotto è indurito.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento esterno a cappotto. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione -tetto caldo- o sopra -tetto rovescio-). Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p> <p><u>Solaio controterra:</u> Controterra interno.</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 28-55 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> n.a.</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 30-200$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 100-500 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Da Euroclasse B s2 – d0 a F</p> <p><i>Assorbimento d'acqua per immersione totale:</i> $WL(T) < 1\%$</p>

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Materiale Isolante termico	Peculiarità	Applicazioni	Proprietà
Lana di roccia	<p>È traspirante, imputrescibile, chimicamente inerte e resistente ad attacchi di agenti biologici.</p> <p>Le prestazioni termoisolanti non variano nel tempo.</p> <p>Non è un materiale igroscopico ed è impermeabile al vapore acqueo data la sua elevata porosità a celle aperte.</p> <p>Non è infiammabile se non accoppiata ad altri materiali infiammabili.</p> <p>Il materiale è irritante, quindi va manipolato con apposite precauzioni.</p> <p>È classificato come non cancerogeno per l'uomo (gruppo 3 IARC).</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento esterno a cappotto. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione –tetto caldo-) Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p> <p><u>Solaio controterra:</u> Controterra interno.</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 15-200 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> $\delta = 1.5 \cdot 10^{-10} \text{ kg/msPa}$</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 1-2$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 15-80 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse A1</p>
Fibra di legno mineralizzata	<p>Ha una discreta resistenza all'umidità. Ottimo fonoisolante e fonoassorbente.</p> <p>Ottima durabilità e resistenza al deterioramento biologico.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione -tetto caldo-) Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 120-300 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> n.a.</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 2-10$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 150-300 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse B</p>
Vetro cellulare espanso	<p>Ha un'elevata resistenza alla compressione, rigidità, fragilità e durezza.</p> <p>È a tenuta di vapore, impermeabile ai gas e all'acqua anche se immerso in modo completo.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione -tetto caldo-) Isolamento intermedio.</p> <p>A contatto con il terreno o sotto la platea di fondazione.</p> <p>Utilizzato anche in forma granulare sfuso per vespai e riempimenti.</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 100-150 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> $\delta = 0 \text{ kg/msPa}$</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = \infty$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 200-1700 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse A1</p> <p>Materiale riciclabile al 100%.</p>
Fibre/Lana di legno	<p>Materiale poroso. Permeabile al vapore acqueo, assorbe e rilascia acqua molto rapidamente.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione –tetto caldo-) Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 30-150 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> $\delta = 6.5 \cdot 10^{-9} \text{ kg/msPa}$</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 1-10$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 40-200 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse E</p>
Sughero agglomerato espanso	<p>Composto da una trama di cellulare di forma poliedrica che contengono aria e le conferiscono leggerezza ed elasticità.</p> <p>È traspirante e permeabile al vapore acqueo. È impermeabile all'acqua.</p> <p>È resistente ad attacchi di agenti biologici.</p> <p>È combustibile, brucia lentamente.</p>	<p><u>Parete:</u> Isolamento esterno a parete ventilata. Isolamento a cappotto. Isolamento in intercapedine. Isolamento interno.</p> <p><u>Copertura a falda:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso.</p> <p><u>Copertura piana:</u> Isolamento all'estradosso (sotto impermeabilizzazione –tetto caldo-) Isolamento intermedio.</p> <p><u>Solaio:</u> Isolamento all'estradosso, intermedio o all'intradosso</p>	<p><i>Densità:</i> $\rho = 90-160 \text{ kg/m}^3$</p> <p><i>Permeabilità al vapore acqueo:</i> $\delta = 6.7 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$ (in campo secco) $\delta = 1 \cdot 10^{-11} \text{ kg/msPa}$ (in campo umido)</p> <p><i>Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:</i> $\mu = 1-30$</p> <p><i>Resistenza alla compressione:</i> $R_c = 100-250 \text{ kPa}$</p> <p><i>Comportamento al fuoco:</i> Euroclasse E</p>

6.3 Ditte produttrici in Svizzera

Sul mercato svizzero materiali e prodotti per l'isolamento termico sono numerosi. Alcune ditte storiche (per es.: Flumroc o Sager) hanno avviato la produzione di materiali isolanti già a partire dalla metà del 1900.

Nell'ottica della definizione delle strategie decostruzione per un determinato edificio, un fattore discriminante da considerare preliminarmente è il periodo di realizzazione o l'anno in cui l'edificio è stato oggetto di intervento di risanamento energetico.

Si propone di seguito una panoramica attuale dei principali produttori e prodotti isolanti termici disponibili sul mercato. Nella **Tabella 7 sono indicate le principali ditte svizzere per la produzione di isolanti termici e i relativi prodotti commerciali**. La tabella include anche ditte che producono materiali isolanti naturali, tuttavia, ad oggi non si è ancora in grado di definire con precisione quale sia la reale diffusione di queste tipologie di materiali. Molte ditte citate nella tabella offrono dei "pacchetti" completi di isolamento a cappotto con anche intonaco.

Tabella 7 Principali ditte svizzere produttrici di prodotti/materiali isolanti termici per le costruzioni.

Ditta	Prodotti commerciali	Sito internet
Flumroc AG (Rockwool)	lana di roccia	https://www.flumroc.ch/
Sager AG	SAGEX polistirolo espanso (EPS) e polistirolo espanso (EPS) con graffite SAGLAN lana di vetro polistirolo estruso (XPS di swisspor) poliuretano (PIR di swisspor)	https://www.sager.ch/
swisspor AG	swissporEPS swissporLAMBDA swissporPIR swissporXPS swissporROC swissporGLASS swissporVIP swissporAIROFOM	https://www.swisspor.ch/
Pittsburgh Corning Schweiz AG (FOAMGLAS)	vetro cellulare	https://www.foamglas.com/de-ch
Saint - Gobain Isover SA	lana di vetro	https://www.isover.ch/it
SOPREMA – Isolamento termico	Soprema PIR (schiuma rigida di poliuretano) Soprema ROC (lana di roccia) Soprema XPS Soprema EPS Soprema VIP (alte prestazioni)	https://www.soprema.ch
Pavatex SUISSE AG	fibra di legno, sistema tetto e sistema pareti	https://www.pavatex.ch
ZZ Wancor	fibra di legno poliuretano PUR lana di roccia vacucomp	https://www.zzwancor.ch/fr.html
Stroba Naturbaustoffe AG	fibra di cellulosa, fibra di cocco fibra di canapa fibra di lino lana di pecora sughero fibra di legno	https://www.stroba-naturbaustoffe.ch/
Haga AG Naturbaustoffe	fibra di cocco fibra di legno fibra di lino sughero	https://www.haganatur.ch/

Le informazioni nella tabella sono state fornite dal Centro documentazione materiali (CDM) del Dipartimento ambiente, costruzioni e design (DACD). Questo Centro mette a disposizione degli utenti,

presso il Campus di Mendrisio, uno spazio espositivo di campioni di materiali e prodotti utilizzati nella costruzione (tra cui i materiali isolanti termici) sotto forma di cataloghi, prospetti, CD, videocassette, modelli e campioni. Sono inoltre disponibili riviste e pubblicazioni inerenti ai materiali da costruzione. La banca dati on-line offre la possibilità di ricercare, in modo rapido, tutti i materiali presenti al CDM e di accedere alle informazioni inerenti le ditte che forniscono i prodotti.

Un database interessante che fornisce una lista di materiali isolanti disponibili può essere consultato alla pagina <https://effienergie.ch/fr/daemmstoffe/daemmstoffe-suche/> (pagina aggiornata al giugno 2019).

I prodotti forniti dalle diverse ditte possiedono gamme dimensionali differenti per quanto concerne: spessori, larghezza e lunghezza dei pannelli, elementi speciali sagomati, pertanto una generalizzazione è poco significativa.

In casi concreti di **definizione delle strategie di decostruzione sarebbe opportuno in prima battuta procedere con l'identificazione del materiale campionando gli elementi costruttivi e correlando le eventuali informazioni documentali in possesso (età del manufatto, ecc.).**

6.4 Ostacoli potenziali al riuso/riciclo

6.4.1 Presenza di sostanze pericolose/inquinanti: anni di soglia

Nel caso della decostruzione di un manufatto le fasi iniziali che comprendono verifiche preventive per il riconoscimento dei materiali, prodotti o componenti separabili sono essenziali.

La composizione dei materiali utilizzati nelle costruzioni varia molto in funzione dell'anno di costruzione dei manufatti. La descrizione della qualità dei rifiuti edili è fondamentale ai fini della definizione del loro "fine vita". L'art. 16 della OPSR prescrive che occorre verificare la presenza di sostanze nocive, procedendo con accertamenti eseguiti da specialisti²⁹.

L'OPSR identifica il 1990 quale anno soglia per l'accertamento della presenza di amianto.

Per gli edifici costruiti a partire dalla seconda metà degli anni '90, materiali e tecniche costruttive presentano una varietà maggiore rispetto agli edifici costruiti nei decenni precedenti. Tuttavia, anche per questa casistica, non è possibile escludere la problematica della presenza di sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente, pertanto è necessario, laddove possibile accertare eventuali situazioni problematiche.

In linea di principio, in fase iniziale (prima dunque della definizione del concetto di decostruzione), è necessario l'intervento di uno specialista (per es.: FAGES o VABS/ASCA) in grado di eseguire la determinazione delle sostanze nocive che possono essere imputabili ai materiali usati per la costruzione oppure derivate dall'utilizzo.

Queste attività preliminari servono a garantire una corretta separazione preventiva dei rifiuti che possono rappresentare un pericolo per la salute o l'ambiente.

Seguendo l'iter legislativo le vie di smaltimento devono essere determinate sulla base della concentrazione di sostanze nocive ed essere classificati gli eventuali rifiuti speciali.

I materiali isolanti termici possono contenere sostanze problematiche che non rendono possibile le strategie di riciclo o riuso.

Nella Tabella 8 per i principali isolanti termici, sono indicate le possibili sostanze nocive contenute e i percorsi di smaltimento attualmente previsti.

²⁹ Le prescrizioni dell'art. 16 OPSR si applicano per tutti i progetti di costruzione con obbligo d'autorizzazione nei quali si prevede che (a) siano prodotti più di 200 m³ di rifiuti edili oppure (b) si prevede che i rifiuti edili prodotti contengano sostanze nocive per l'ambiente o la salute. Sono inclusi anche i progetti che hanno obbligo di notifica all'autorità, per es.: demolizioni senza nuova costruzione sostitutiva.

Nel caso si prevedano meno di 200 m³ di rifiuti, l'autorità preposta al rilascio dell'autorizzazione deciderà in che modo deve avvenire la determinazione delle sostanze nocive (tramite specialista o autocertificazione).

Tabella 8 Materiali isolanti termici: problematiche legate alla presenza di sostanze nocive. Fonte: Brupbacher A., Rubli S., "Entsorgungssituation von Dämmmaterialien in der Schweiz", Bundesamt für Umwelt BAFU, Berna, 2016.

Materiale isolante	Sostanze nocive	Problema		Anno soglia	Attività diagnostica	Disposizioni
		A	S			
Lana minerale	Fibre lana di vetro		■	1995	Analisi dimensione fibre. Presenza ossidi alcalini e alcalini-terrosi.	Smaltimento in discarica. Pericolo esposizione durante installazione/rimozione.
EPS XPS	HBCD o HBCDD (ritardante di fiamma)		■	2015-2017		No riciclaggio. Incenerimento recupero termico.
	PBDE (ritardante di fiamma)		■		Contenuto consentito < 0,001%	No riciclaggio. Incenerimento recupero termico.
XPS PUR	HCFC (agente espandente)	■		L'uso di HCFC è stato ridotto a partire dal 1989 (Protocollo di Montreal). In Europa divieto d'uso a partire dal 2000.	Analisi per provare l'assenza di questi gas nei materiali. Sondare gli elementi che possono contenere questi gas e di elencarli con precisione nel referto.	
PUR	CFC	■		1995		Rifiuto speciale. Separazione preventiva dei materiali compositi. Incenerimento recupero termico Smontaggio con precauzioni: non distruggere/frantumare/comprimere
	TCEP o TCPP (ritardante di fiamma nelle schiume)		■	(2015 schiume) Il TCPP è ancora utilizzato oggi nella produzione di PUR.		
SUGHERO	PAH (Catrame e bitume)		■	Utilizzato come adesivo nell'isolamento del sughero, soprattutto negli anni '80.	Verifica presenza.	Incenerimento recupero termico.

S = salute

A = ambiente

Per soddisfare le normative antincendio nazionali, l'esabromociclododecano (HBCD) è stato utilizzato in molti paesi europei dagli anni '60. Nel 2008 l'HBCD è stato classificato come persistente, bioaccumulabile e tossico ai sensi del REACH (*Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*). Inoltre, l'HBCD è stato incluso nell'elenco POP della Convenzione UNEP di Stoccolma come POP (inquinante organico persistente). Questo ha posto le basi per il divieto mondiale. La delibera è stata formalmente attuata il 9 maggio 2013 ed è entrata in vigore nel 2014 con una fase transitoria di circa un anno.

L'immissione sul mercato o l'uso è stata vietata a partire dal 21 agosto 2015. Dopo tale data l'HBCD potrebbe essere ancora utilizzato per l'EPS fino al 21 agosto 2017 dalle ditte autorizzate. Dal 1° gennaio 2015, i produttori ad es. Austria, Germania e Svizzera hanno convertito la propria produzione usando un nuovo ritardante di fiamma polimerico pFR.

Le lane minerali prodotte prima del 1996 possono rilasciare fibre respirabili a bassa biodegradabilità. Dal 1996 il metodo di produzione della lana minerale è stato cambiato³⁰.

Nel momento in cui si accerta la presenza di queste sostanze nei materiali isolanti la via di smaltimento possibile è quella prevista dalla legislazione. Indicazioni specifiche e dettagliate sono fornite sul sito Polludoc.ch.

I materiali isolanti non si presentano sempre come monofrazione, spesso sono combinati con altri materiali. Di fatto, essi possono essere composti e/o assemblati con altri (colle, bordure, strati di intonaco, strati impermeabilizzanti/barriere al vapore, ecc.) e pertanto presentare dei problemi di contaminazione secondaria e di separazione.

In questi casi le problematiche di separazione sono di diversa natura:

- Operativa, ovvero difficoltà nel separare i diversi materiali;
- Tecnica, ovvero identificare tutti gli strati/componenti e discriminare quelli che possono contenere sostanze nocive.

Molti inquinanti si possono identificare solo attraverso esplorazioni mirate (Figura 13, Figura 14), pertanto prima di avviare qualsiasi ipotesi di decostruzione al fine di riuso/riciclaggio è essenziale procedere con l'identificazione di tutti i materiali suscettibili di essere pericolosi per l'uomo o per l'ambiente.



Figura 13, Esempio di isolamento di sughero catramato dietro un intonaco. Fonte: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Rückbau schadstoffbelasteter. Bausubstanz. Arbeitshilfe Rückbau: Erkundung, Planung, Ausführung, 2019.

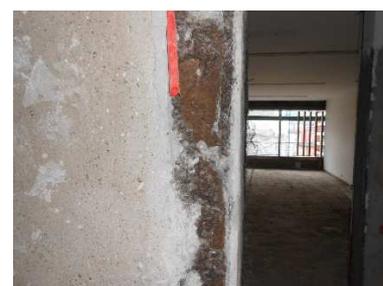


Figura 14, Nello stesso edificio è stato rilevato: a) strato isolante termico a base di sughero costituente il nucleo della doppia muratura in calcestruzzo delle pareti perimetrali. Tale strato è incollato con un adesivo bituminoso; b) strato isolante termico a base di sughero che riveste esternamente le pareti dei vani degli ascensori, incollato invece con malta cementizia. (@imc_7400).

Per materiali che non presentano sostanze nocive, anche a livello di contaminazione secondaria, è possibile proporre studi e approfondimenti relativi a potenziali riusi o ricicli per ottenere materie prime secondarie. Questo dovrebbe favorire lo sviluppo di nuove filiere produttive dedicate a questo tipo di prodotti che possono interessare e coinvolgere ditte di smaltimento e i produttori di materie prime secondarie.

³⁰ "UmweltWissen – Abfall Künstliche Mineralfasern", Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2019.

6.4.2 Degrado

Lo stato di conservazione del materiale isolante è un fattore che può influenzare l'eventuale possibilità di riciclo e/o riuso. Pertanto, sulla base delle conoscenze scientifiche e delle esperienze peritali, di seguito si propone una sintesi di casistiche di difetti relative all'isolamento termico dell'involucro edilizio.

Nella Tabella 9, sono riportate alcune casistiche di materiali isolanti posati che hanno dato problematiche sia per un uso non corretto del materiale, sia per una posa inadeguata.

Tabella 9 Esempi di problematiche di isolamenti termici messi in opera.

Isolamento termico	Problematica	Documentazione fotografica
<p>Cappotto esterno in EPS.</p> <p>(1)</p>	<p>Utilizzo di materiale isolante non idoneo.</p> <p>Isolamento termico con pannelli EPS di una facciata.</p> <p>Dopo qualche mese dall'intervento si sono presentate macchie di umidità e distacchi di intonaco al piede dell'edificio.</p> <p>E' stato appurato che i pannelli di EPS arriva fino al piede dell'edificio.</p> <p>L'EPS, essendo un materiale espanso (non estruso come XPS) ha una densità di ca. 25 kg/m³ (XPS di ca. 35 kg/m³) e possiede una resistenza alla diffusione al vapore acqueo di ca. $\mu = 50$ (XPS $\mu = 80-230$).</p> <p>Per queste sue caratteristiche l'EPS teme le condizioni di umidità che possono essere causa di perdita di efficienza e degrado del materiale.</p>	

<p>Cappotto esterno in EPS.</p> <p>(1)</p>	<p>Errata posa del collante.</p> <p>Sistema di posa del collante per punti.</p> <p>Con questa posa le lastre termoisolanti rigide subiscono delle sollecitazioni (in estate e in inverno) che non possono essere sufficientemente contrastate.</p>	
<p>Soletta con isolamento termoacustico.</p> <p>(2)</p>	<p>Deformazione strato isolante in lana minerale</p> <p>Lo strato di anticalpestio in opera presenta uno spessore di ca. 16 mm contro il minimo di 22 mm che dovrebbe avere (ovvero 25 mm nominali meno 3 mm di deformazione massima come indicato nella scheda tecnica).</p>	
<p>Facciata esterna con cappotto in EPS.</p> <p>(2)</p>	<p>Fessurazioni e distacco della pittura.</p> <p>In corrispondenza del giunto tra le lastre di polistirolo si presentano fessure causate da un piano di posa non uniforme che ha portato ad avere spessori variabili che generano tensioni in grado di creare il quadro fessurativo.</p>	

<p>Facciata esterna con cappotto in EPS e zoccolatura in XPS.</p> <p>(2)</p>	<p>Fessurazione alla base del muro perimetrale.</p> <p>In corrispondenza del giunto tra le lastre di XPS (posate al piede dell'edificio come zoccolatura) si presentano fessure causate da un piano di posa non uniforme che ha portato ad avere spessori variabili che generano tensioni in grado di creare il quadro fessurativo.</p>	
<p>Tetto terrazza, isolamento in pannelli EPS (2 strati).</p> <p>(3)</p>	<p>Presenza di acqua stagnante sulla barriera al vapore.</p> <p>I pannelli rimossi mostrano che la presenza di acqua fino a 10 mm di h.</p> <p>L'esempio mostra che una perdita che non è stata rilevata per un lungo periodo di tempo porta a un contenuto di umidità molto elevato nell'EPS.</p>	
<p>Tetto inclinato con due strati di PUR.</p> <p>(3)</p>	<p>Presenza di umidità.</p> <p>Materiali isolanti in PUR laminati con carta bituminosa che si presentano notevolmente inumiditi (valore misurato 3 volte superiore al consentito).</p>	
<p>Tetto piano con isolamento in lana minerale e guaina bituminosa ardesiata.</p> <p>(3)</p>	<p>Presenza di umidità.</p> <p>Isolamento in lana minerale fortemente inumidito e presenza d'acqua sulla barriera al vapore. Infiltrazioni causate da un giunto aperto nella guaina.</p>	

		
<p>Copertura piana in pannelli sandwich di metallo coibentati in PUR.</p> <p>(2)</p>	<p>Presenza di distacchi della lamiera superiore dei pannelli con formazione di bolle.</p> <p>La formazione delle bolle è da attribuire alla pressione esercitata dal gas (pentano, solitamente utilizzato quale agente espandente nella produzione di materiali coibentanti).</p>	 

Fonte: (1) Rossetti M., Pepe D., "Gli isolanti termici in edilizia", Maggioli editore, Santarcangelo di Romagna, 2020. (2) Casi studio perizie IMC. (3) Langzeitverhalten feuchter Dämmstoffe auf Flachdächern – Praxiserfahrungen und Wärmestrommessungen Abschlussbericht Gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, 2018.

La casistica presentata permette di fornire spunti di riflessioni utili al fine di valutare i fattori che possono influire sulla durabilità di questi materiali/prodotti. Infatti, per una valutazione generale delle potenzialità di riciclo/riuso di un materiale è importante **considerare i fattori che possono portare alla variazione (generalmente peggioramento) delle caratteristiche nel corso del tempo, dovuta a cause interne (tensioni, transizioni strutturali, ecc.) o esterne, sia legate alle sollecitazioni imposte, sia alle condizioni ambientali di impiego (infiltrazioni di acqua, condensa, ecc.).**

Per quanto concerne l'EPS, per esempio, ricerche applicative³¹ su scala vastissima e in particolare da numerose verifiche delle caratteristiche effettuate su sistemi in opera da decenni (l'età degli ETICS³² indagati varia dai 18 ai 35 anni), hanno dimostrato stabilità nel tempo, confutando la possibilità di sublimazione di questo materiale.

Il comportamento a lungo termine dei materiali isolanti è anche stato studiato dal FIW di Monaco³³, per cui sono indicati quali parametri significativi per considerare la degradazione dei materiali isolanti: presenza di umidità per condensa o infiltrazioni d'acqua; deformazioni dovute a carichi di compressione impropri; pose in opera non a regola d'arte che possono provocare fessurazioni, scarsa adesione.

Infine, bisogna sempre tenere presente le peculiarità dei diversi materiali, che anche se possono apparire identici, possiedono specificità che li rendono più o meno vulnerabili a fenomeni di degrado. È

³¹ Künzel H., Künzel H.M., Sedlbauer K., "Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS)", in *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura* 5 (2006), No.1, pp.11-24.

³² ETICS (External Thermal Insulation Composit System), cioè sistemi di isolamento termico a cappotto

³³ Albrecht W., Koppold S., "Langzeitverhalten von Dämmstoffen", Ernst&Sohn, Berlino, 2010.

il caso di EPS e XPS: entrambe provengono dalla lavorazione della medesima sostanza, lo stirene, tuttavia, proprio per la tecnica di produzione (EPS è espanso, XPS è estruso) sono materiali che possiedono caratteristiche meccaniche e fisiche differenti. L'XPS è una struttura a celle chiuse omogenea e stabile che, di principio, non assorbe acqua, normalmente di colore non bianco e con elevata resistenza alla compressione. L'EPS è un materiale con struttura a celle aperte, pertanto è più suscettibile a condizioni di umidità.

6.5 Filiere di fine vita

La norma 14001 definisce il concetto ciclo di vita di un prodotto come *“le fasi consecutive e interconnesse di un sistema di prodotti (o di servizi), dall’acquisizione delle materie prime o dalla generazione delle risorse naturali, fino allo smaltimento finale. Le fasi del ciclo di vita comprendono l’acquisizione delle materie prime, la progettazione, la produzione, il trasporto/la consegna, l’utilizzo, il trattamento di fine vita e lo smaltimento finale”*.

In questo studio si forniscono le Schede di fine vita dei materiali in **ALLEGATO 2**.

Lo studio di modelli di gestione che possono essere intrapresi in relazione al fine di vita dei materiali isolanti termici è eseguita con l’obiettivo di evitare che i materiali divengano dei rifiuti non valorizzabili. Attraverso indagini preliminari deve poter essere esclusa la presenza di rifiuti pericolosi e identificata l’attitudine dei materiali allo smontaggio/separazione selettiva al fine di una loro valorizzazione (energetica (come combustibile), riciclo o riuso) o la loro eliminazione e conferimento in discarica. Il riciclo si riferisce alla reintroduzione del materiale nello stesso ciclo produttivo da cui è pervenuto, attraverso trattamenti e lavorazioni che ne consentono il reinserimento come “materia prima seconda”. Il riuso, invece, si riferisce alla possibilità di riutilizzare i materiali per le stesse finalità oppure per altre finalità, distinguendo tra riuso in loco o smontaggio e rimontaggio in altri luoghi.

Tutti i processi generati dalla gestione del fine vita di un materiale edile rappresentano una grande opportunità per l’avvio di nuovi modelli economici e di sviluppo di tipo sostenibile, che coinvolgano, a diversi livelli: la collettività, gli enti pubblici, gli operatori di settore e gli assetti produttivi (progettisti, imprese di raccolta, smaltimento e produzione).

Una gestione efficace dei rifiuti edili può articolarsi nelle seguenti fasi:

- 1) inventario dei differenti materiali presenti e suscettibili di divenire rifiuti;
- 2) identificazione preventiva dei rifiuti pericolosi per l’uomo e l’ambiente;
- 3) definizione delle potenzialità e modalità di smontaggio/separazione e categorizzazione dei rifiuti;
- 4) scelta della filiera di gestione dei rifiuti: valorizzazione o eliminazione.

Nella valutazione del ciclo di vita dei materiali da costruzione, la fase di smaltimento viene solitamente bilanciata sulla base di ipotesi formulate dagli ideatori delle rispettive valutazioni del ciclo di vita. Nello studio realizzato per conto dell’Ufficio federale dell’ambiente UFAM³⁴ sono state identificate le vie di smaltimento di vari materiali da costruzione e definiti scenari pratici di smaltimento. Il percorso seguito da un materiale da costruzione per lo smaltimento e i processi di trattamento dei rifiuti dipende da diversi fattori. In generale la fase di smaltimento comprende diversi processi: inizia con lo smantellamento (demolizione tradizionale o selettiva) dell’edificio, prosegue con lo smistamento dei materiali e finisce con lo smaltimento in discarica o inceneritore, oppure con la raccolta e trasformazione per il riciclo diretto alla realizzazione di nuovi prodotti.

Le alternative di smaltimento dipendono dal grado di separazione dei rifiuti in cantiere. I materiali da costruzione possono essere smaltiti in discariche di tipo B o E, oppure possono essere inceneriti in impianti di incenerimento rifiuti, cementifici o impianti di incenerimento speciali (come per es.: il legno di scarto).

Il **Concetto multibenna dell’Associazione svizzera degli impresari costruttori** è il riferimento: il materiale di demolizione dovrebbe essere separato al meglio in cantiere e raccolto in diverse benne. Il

³⁴ Hiltbrunner D., “Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich“, BAFU, Zurigo, 2019.

tipo e la quantità dei materiali raccolti varia a seconda delle dimensioni del progetto e dipende anche dallo spazio disponibile in loco.

Secondo il **Concetto multibenna** i materiali di demolizione vengono raccolti:

- a) in **frazioni monomateriale** (solo per un tipo di materiale: metalli, legno, ecc.), idonee al riciclaggio;
- b) in **frazioni per rifiuti misti puramente minerali** (demolizioni di calcestruzzo, mattone, pietra arenaria calcarea, pietra naturale, ecc.), idonee al riciclaggio o alla discarica inerti;
- c) **materiale combustibile** che viene smaltito nell'impianto di incenerimento dei rifiuti, idoneo all'incenerimento rifiuti;
- d) **materiali edili ingombranti** per la raccolta di rifiuti edili indifferenziati, che necessitano separazione.

Anche i **rifiuti pericolosi e gli inquinanti edili** devono essere raccolti separatamente. Tuttavia, questi devono essere rimossi prima dello smantellamento vero e proprio. Per i processi di bonifica di materiali (amianto e sostanze pericolose) sono fornite indicazioni su Polludoc.ch.

Secondo l'articolo 17 della OPSR: i rifiuti di costruzione dovrebbero essere separati il più possibile per tipologia in cantiere. Se per motivi operativi non è possibile, i rifiuti devono essere separati in idonei impianti di lavorazione. Inoltre, è specificato che l'autorità può esigere la separazione di ulteriori categorie se, così facendo, è possibile riciclare altre parti dei rifiuti.

Per il riciclaggio, i materiali vengono raccolti per tipologia e necessitano di ulteriori lavorazioni. Questi processi di trattamento vengono eseguiti in impianti di trattamento specializzati. Oltre alla realizzazione di impianti di lavorazione di merci ingombranti, esistono impianti di lavorazione di macerie edili (demolizione calcestruzzo o demolizioni miste), scarti di legno, vetro e metalli. Il materiale riciclato non è considerato rifiuto se soddisfa i seguenti criteri:

- il materiale recuperato viene utilizzato per scopi specifici.
- esiste un mercato caratterizzato da un valore economico positivo, per il materiale recuperato.
- il materiale recuperato soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici.
- l'utilizzo del materiale recuperato non porta a effetti nocivi sull'ambiente o sulla salute.

Gli impianti di trattamento separano i rifiuti e sono specializzati in una determinata frazione; se necessario, sullo stesso impianto possono essere smistati rifiuti diversi ma fisicamente simili.

Gli **impianti di trattamento** possono produrre:

- 1) **materiali riciclabili** che possono essere consegnati direttamente a un processo di produzione per un nuovo prodotto (es.: il vetro in una vetreria, metalli a una fonderia, legno per una produzione di truciolare);
- 2) **rifiuti che vengono inviati a un ulteriore impianto di lavorazione** (es.: telai di finestre/porte in legno);
- 3) **rifiuti** destinati allo smaltimento tramite **incenerimento o discarica**.

Lo smaltimento di adesivi, sigillanti e vernici non viene effettuato separatamente rispetto ai substrati a cui sono applicati, salvo che essi non contengano sostanze pericolose. Di fatto la rimozione di strati adesivi ad altre tipologie di supporti richiederebbe uno sforzo notevole per la separazione.

Per quanto concerne i materiali isolanti alcuni produttori riciclano i rifiuti isolanti durante la produzione (è il caso della *Isover Recycling*, descritto al par. 3.3.3). Tuttavia, la maggior quantità di questi rifiuti sono solitamente ritagli che si verificano durante l'installazione dei materiali isolanti. Sullo smaltimento dei materiali isolanti non c'è ancora una prassi uniforme³⁵.

Secondo la **legislazione i percorsi di smaltimento degli isolanti termici** possibili sono:

- i materiali isolanti in **lana minerale possono essere smaltiti nelle discariche (tipo B)**. Tuttavia, una parte significativa della lana minerale viene portata in **impianti di incenerimento** perché mista ad altri materiali;
- i **materiali isolanti minerali come il vetro espanso o la perlite espansa, sono smaltiti solo nelle discariche (tipo B)**, sono stati assegnati al gruppo dei materiali da costruzione "materiali da costruzione minerali indifferenziati";
- i **materiali isolanti organici**, invece sono quasi esclusivamente recuperati termicamente;
- i **materiali a base di fibre di legno** mineralizzate vengono inceneriti.

³⁵ Rubli S., "Entsorgungssituation von Dämmmaterialien in der Schweiz", BAFU, 2016.

7 M2 Casi studio e stato della ricerca

ABSTRACT (IT)

Nell'attuale patrimonio edilizio oggetto di future demolizioni, la presenza di elevati spessori di isolamento termico e di soluzioni costruttive complesse ha aumentato il rischio di contaminazione dei materiali, compromettendone le successive fasi di smaltimento. In quest'ottica il progetto DeCO è finalizzato allo sviluppo di procedure standardizzate per una decostruzione e uno smontaggio degli edifici moderni e post-moderni che consenta la futura gestione dei complessi rifiuti da cantiere. Per contestualizzare il progetto, sono stati analizzati diversi casi studio svizzeri e internazionali, con lo scopo di delineare lo stato dell'arte sulla decostruzione degli edifici, sugli esistenti sistemi per ottimizzare la separazione e il riciclaggio dei materiali isolanti e su altre nuove esperienze di valorizzazione dei rifiuti edili.

Molti sono gli esempi provenienti dall'estero. Con il Progetto europeo BAMB (Buildings As Material Banks) vengono delineate le problematiche che richiedono la trasformazione del settore edile verso un'economia circolare e determinate le caratteristiche e i requisiti tecnico/progettuali per il "Design for disassembly". Rotor, in Belgio, promuove la cultura del riutilizzo dei materiali tramite attività di progettazione, formazione e ricerca. L'Agenzia italiana CasaClima, promotrice dell'omonima certificazione per edifici, ha pubblicato delle linee guida per il recupero dei materiali dalla demolizione selettiva delle murature esterne massicce a cappotto e pareti intelaiate in legno. Oltre a quest'ultimo, nello studio qui proposto vengono presentati altri esempi applicativi di smantellamento dei sistemi a cappotto (ETICS): l'esperienza in Germania del Fraunhofer Institute for Building Physics analizza la rimozione completa degli ETICS con diverse tecniche; Saint-Gobain Weber presenta un sistema a cappotto riciclabile, in cui ogni suo componente è stato può essere agevolmente separato. Vengono inoltre riportati casi sull'impiego della decostruzione robotizzata di questi sistemi e le novità sui processi per il riciclo di EPS/XPS.

In Svizzera sono recentemente emerse diverse piattaforme per lo scambio o la compravendita di materiali ed elementi costruttivi ricavati dallo smontaggio di edifici esistenti. Lo studio d'architettura "In situ", nell'edificio "K118" a Winterthur, ha impiegato gran parte dei materiali di riuso per elementi strutturali, di finitura, serramenti e impiantistica. L'Ufficio federale dell'Ambiente (UFAM) ha anche commissionato uno studio per delineare lo stato dell'arte su questo tema strettamente connesso a quello della decostruzione (Costruire le remploi). Il NEST centro di ricerca e living-lab, attualmente testa elementi e sistemi tecnologici di riuso/riciclati ed è impegnato in ricerche che trattano il tema della circolarità nella costruzione.

Lo studio effettuato è frutto di una ricerca bibliografica e online. Mentre i temi della decostruzione e dei sistemi per la separazione e il riciclaggio dei materiali isolanti sono condotti attraverso un'analisi dei singoli casi, le nuove esperienze di valorizzazione dei rifiuti edili sono state sintetizzate in schede che ne facilitano la comparazione e ne mettono in evidenza gli aspetti più rilevanti. Ciò che emerge maggiormente da questo stato dell'arte è che tutte le esperienze analizzate, seppur in contesti tecnologici e geografici differenti, sono accumulate dagli stessi obiettivi: riduzione dei volumi di rifiuti da conferire in discarica; limitazione dell'estrazione di risorse vergini; miglioramento del controllo qualità dei materiali riciclati.

Le esperienze esaminate dimostrano che il raggiungimento degli obiettivi sopraindicati è possibile. A tale proposito, si evidenzia la necessità di pratiche di decostruzione ben pianificate, le quali dipendono da una maggior consapevolezza degli operatori coinvolti e da azioni normative mirate.

ABSTRACT (FR)

Dans le patrimoine bâti actuel, sujet à une future démolition, la présence de fortes épaisseurs d'isolation thermique et de solutions de construction complexes a augmenté le risque de contamination des matériaux, en compromettant les phases successives d'élimination. Dans cette optique, le projet DeCO vise à élaborer des procédures standardisées pour la déconstruction et le démontage des bâtiments contemporains, afin de permettre la gestion future des déchets de construction complexes. Pour contextualiser le projet, plusieurs études de cas suisses et internationales ont été analysées afin de définir l'état de l'art sur la déconstruction des bâtiments, sur les systèmes existants pour optimiser la séparation et le recyclage des matériaux d'isolation, et sur d'autres nouvelles expériences dans la valorisation des déchets de construction.

Il existe de nombreux exemples à l'étranger. Le projet européen BAMB (Buildings As Material Banks) décrit les problèmes qui rendent nécessaire la transformation du secteur du bâtiment vers une économie circulaire et détermine les caractéristiques et les exigences techniques/de conception du "Design for disassembly". Rotor, en Belgique, promeut la culture du réemploi des matériaux à travers des activités de conception, de formation et de recherche. L'agence italienne CasaClima, promotrice de la certification des bâtiments homonyme, a publié des lignes directrices pour la récupération des matériaux issus de la démolition sélective des parois extérieures massives avec isolation thermique et des parois à ossature en bois. Outre ce dernier, d'autres exemples d'application de la déconstruction des systèmes d'isolation thermique par l'extérieur (ETICS) sont présentés dans cette étude : l'expérience en Allemagne du Fraunhofer Institute for Building Physics analyse l'enlèvement complet des ETICS à l'aide de différentes techniques; Saint-Gobain Weber commercialise un système d'isolation thermique recyclable dont chacun des composants et des couches peut être facilement séparé. Des cas sont également présentés sur le recours à la déconstruction robotisée de ces systèmes et sur les nouveaux processus de recyclage de l'EPS/XPS.

Plusieurs plateformes d'échange ou d'achat et vente de matériaux et d'éléments de construction issus du démontage de bâtiments existants ont récemment vu le jour en Suisse. Le bureau d'architectes "In situ", dans le bâtiment "K118" à Winterthur, a utilisé une grande partie de matériaux réutilisés pour la structure, le second-œuvre, les fenêtres et les installations. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a également commandé une étude pour dresser l'état de l'art sur ce thème étroitement lié à celui de la déconstruction (Construire le réemploi). Le centre de recherche et le living-lab NEST teste actuellement des éléments et des systèmes technologiques de réemploi/recyclage et est engagé dans des recherches sur le thème de la circularité dans la construction.

L'étude réalisée est le résultat de recherches bibliographiques et en ligne. Alors que les thèmes de la déconstruction et des systèmes de séparation et de recyclage des matériaux d'isolation sont traités à travers l'analyse de cas individuels, les nouvelles expériences de valorisation des déchets de construction ont été résumées dans des fiches qui facilitent leur comparaison et mettent en évidence leurs aspects les plus pertinents. Ce qui ressort de cet état de l'art, c'est que toutes les expériences analysées, bien que dans des contextes technologiques et géographiques différents, partagent les mêmes objectifs : réduction des volumes de déchets mis en décharge; limitation de l'extraction de ressources vierges; amélioration du contrôle de la qualité des matériaux recyclés.

Les expériences analysées montrent que la réalisation des objectifs susmentionnés est possible. À cet égard, la nécessité de pratiques de déconstruction bien planifiées, qui dépendent d'une sensibilisation accrue des opérateurs concernés et d'actions réglementaires ciblées, est mise en évidence.

ABSTRACT (DE)

Bei dem heutigen Gebäudebestand, der in Zukunft abgerissen werden soll, erhöhen hohe Wärmedämmungsdicken und komplexe Konstruktionslösungen das Risiko einer Kontamination der Materialien und beeinträchtigen die anschliessende Entsorgung. Unter diesem Gesichtspunkt zielt das Projekt DeCO darauf ab, standardisierte Verfahren für den Rückbau und die Demontage zeitgenössischer Gebäude zu entwickeln, die die zukünftige Bewirtschaftung komplexer Bauabfälle ermöglichen. Um das Projekt in einen Kontext zu stellen, wurden mehrere schweizerische und internationale Fallstudien analysiert, um den Stand der Technik beim Gebäuderückbau, die bestehenden Systeme zur Optimierung der Trennung und des Recyclings von Dämmstoffen sowie weitere neue Erfahrungen mit der Verwertung von Bauabfällen darzustellen.

Es gibt viele Beispiele aus dem Ausland. Mit dem europäischen Projekt BAMB (Buildings As Material Banks) werden die Fragen, die eine Umwandlung des Bausektors in Richtung Kreislaufwirtschaft erfordern, skizziert und die technischen/gestalterischen Merkmale und Anforderungen für "Design for disassembly" festgelegt. Rotor in Belgien fördert die Kultur der Wiederverwendung von Materialien durch Design-, Schulungs- und Forschungsaktivitäten. Die italienische CasaClima-Agentur, Förderer der gleichnamigen Gebäudezertifizierung, hat Richtlinien für die Rückgewinnung von Materialien aus dem selektiven Abriss vom Aussenmauerwerk und gerahmten Holzwänden veröffentlicht. Darüber hinaus werden in dieser Studie weitere Anwendungsbeispiele für die Ausserbetriebnahme von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) vorgestellt: Die Erfahrungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Deutschland analysieren die vollständige Demontage von WDV-System mit verschiedenen Techniken; Saint-Gobain Weber stellt eine recycelbare Aussendämmung vor, bei dem sich die einzelnen Komponenten und Schichten leicht trennen lassen. Es wird auch über den Einsatz von Robotern für den Rückbau dieser Systeme und über neue Verfahren für das Recycling von EPS/XPS berichtet.

In der Schweiz sind in letzter Zeit mehrere Plattformen für den Tausch oder den An- und Verkauf von Materialien und Bauteile aus dem Rückbau bestehender Gebäude entstanden. Das Architekturbüro "In situ" hat bei dem Gebäude "K118" in Winterthur einen hohen Anteil an wiederverwendbaren Materialien für Tragwerk, Ausbau, Fenster und Türen sowie Einbauten verwendet. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat zudem eine Studie in Auftrag gegeben, die den Stand der Technik zum eng verbundenen Thema Rückbau ("Construire le emploi") aufzeigt. Das NEST Forschungszentrum und living-lab testet derzeit Elemente und Systeme der Wiederverwendungs- und Recyclingtechnologie und betreibt Forschung zum Thema Kreislaufwirtschaft im Bauwesen.

Die durchgeführte Studie ist das Ergebnis einer Literatur- und Onlinerecherche. Während die Themen Rückbau und Verfahren zur Trennung und Wiederverwertung von Dämmstoffen einer Einzelfallanalyse unterzogen werden, wurden die neuen Erfahrungen mit dem Recycling von Bauabfällen in Merkblätter zusammengefasst. Diese erleichtern einen Vergleich und heben die wichtigsten Aspekte hervor. Am deutlichsten wird, dass alle analysierten Erfahrungen, wenn sie auch in unterschiedlichen technologischen und geografischen Kontexten gemacht wurden, dieselben Ziele verfolgen: Verringerung der zu deponierenden Abfallmengen, Begrenzung der Gewinnung neuer Ressourcen und Verbesserung der Qualitätskontrolle von Recyclingmaterialien.

Die untersuchten Erfahrungen zeigen, dass es möglich ist die oben genannten Ziele zu erreichen. In diesem Zusammenhang wird auf die Notwendigkeit gut geplanter Rückbaupraktiken hingewiesen, die von einer stärkeren Sensibilisierung der beteiligten Akteure und gezielten Regulierungsmassnahmen abhängen.

7.1 Introduzione

Al fine di contestualizzare il presente studio riguardante le Linee Guida per la decostruzione si è eseguita una disamina di esperienze rilevanti o significative in Svizzera e all'estero.

Si sono considerati sia studi e attività di ricerca sia interventi di decostruzione eseguiti.

7.2 Decostruzione degli edifici

7.2.1 Estero

Rotor (Belgio)

Rotor³⁶ è una cooperativa di progettazione e studio con sede a Bruxelles che ha l'obiettivo di promuovere la cultura del riutilizzo dei materiali tramite attività di progettazione, formazione e ricerca. Diversi progetti finanziati dalle Istituzioni sia locali (p.e. Città di Bruxelles), sia internazionali (Unione Europea), hanno portato alla pubblicazione di diverse linee guida, vademecum e libri in merito all'estrazione, riuso e alla creazione di una filiera di mercato per i materiali estratti dalle demolizioni degli edifici³⁷. Di particolare rilievo sono il libro *Déconstruction et réemploi*³⁸ e il *Vade-mecum Comment extraire les matériaux réutilisables de bâtiments publics ?*³⁹. Per quanto riguarda gli edifici pubblici sono disponibili anche documenti in formato excel per redigere gli inventari. Da Rotor si è sviluppata una spin-off, Rotor Deconstruction e Consulting⁴⁰ che organizza il riuso dei materiali da costruzione fornendo consulenza per la decostruzione e per l'individuazione dei materiali interessanti, esegue servizio di stoccaggio dei materiali e possiede un portale di vendita dei prodotti edili. Tra le attività anche la progettazione di edifici o di interni mediante materiale usato (vengono presentati alcuni esempi). Infine è stata sviluppata la piattaforma internet Opalis⁴¹, che riporta sul territorio di Belgio, Olanda e Francia i rivenditori di materiale da costruzione usato con suddivisione di area geografica e tipologia.

In generale le attività e le pubblicazioni di Rotor si riferiscono alla valorizzazione dei materiali e alla loro filiera di riuso, la parte di decostruzione iniziale viene approfondita caso per caso (tramite consulenza di Rotor o pareri di altri professionisti) solo se si ritiene che ci sia un potenziale di riuso del materiale individuato. Le procedure di decostruzione non vengono sistematizzate o generalizzate. L'esperienza di Rotor risulterà determinante nelle eventuali fasi successive del progetto (M7 / Riutilizzo: energia e materiali) anche in merito alla ev. creazione di una filiera dei materiali riusabili in Ticino.

36 <http://rotordb.org/en>

37 Objectif réemploi. Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale. Rotordb. Agosto 2017

38 *Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction.* Michaël Ghyoot, Lionel Devlieger, Lionel Billet, André Warnier. EPFL Press. Gennaio 2018

39 *Comment extraire les matériaux réutilisables de bâtiments publics ?.* Rotor, Région de Bruxelles-Capitale. 29.09.2015.

40 <https://rotordc.com/>

41 <https://opalys.eu/fr>

CasaClima (Italia)

L'Agenzia CasaClima, un ente legato alla Provincia Autonoma di Bolzano, è promotrice della Certificazione CasaClima per edifici, un metodo di certificazione per edifici caratterizzati da un fabbisogno energetico molto limitato ed elevati spessori di isolamento termico. È possibile paragonare la Certificazione CasaClima alla Certificazione Minergie in Svizzera.

Nel 1992 inizia l'attività di Certificazione CasaClima degli edifici, per cui dopo ca. 30 anni si verificano i primi risanamenti di edifici e impianti. Dato che la presenza di elevati spessori di isolamento termico e di soluzioni costruttive complesse aumentano il rischio di contaminazione dei materiali che possono compromettere le successive fasi di smaltimento, è stata pubblicata una linea guida per il recupero dei materiali da demolizione CasaClima⁴². Tale documento contiene le raccomandazioni per la demolizione selettiva delle pareti esterne massicce a cappotto e intelaiate in legno basate sulle esperienze pratiche raccolte nella demolizione dei primi edifici CasaClima e il contatto con le ditte che si occupano della raccolta e selezione dei materiali.

Inoltre nel documento si confronta l'impatto del ciclo di smaltimento di due tipologie di pareti isolate termicamente, massiccia a cappotto e intelaiata in legno. La parete in legno risulta migliore dal punto di vista ambientale solo se la combustione e la conseguente produzione di energia porta a sostituire fonti fossili o energia elettrica da fonti fossili.

Lo stato dell'arte delle tecnologie costruttive diffuse nella Provincia Autonoma di Bolzano sono raffrontabili rispetto a quelle diffuse in Svizzera e che le problematiche di trattamento dei rifiuti edili sono paragonabili.

⁴² Recupero dei materiali di demolizione di CasaClima. IFEU-Institut Heidelberg: Florian Knappe, Anton Diebel, Joachim Reinhardt, Stefanie Theis. Syneco: Elisabeth Leiter, Rupert Rosanelli, Andreas Vieider. Martina Bonadio, Walter Feeß. Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige. Rip. 29 – Agenzia per l'ambiente. Settembre 2012.

BAMB – Buildings As Material Banks (Unione Europea)

A livello Europeo, nell'ambito del programma di ricerca e finanziamento Horizon 2020 dell'Unione Europea, è attivo dal Settembre 2015 il progetto BAMB (Buildings As Material Banks) che coinvolge 15 partners di 7 nazioni europee con l'obiettivo di analizzare la situazione attuale e fornire concetti e soluzioni per favorire un cambiamento sistemico del settore della costruzione verso l'economia circolare. Vista l'estensione del progetto, sono state prodotte molteplici pubblicazioni in corrispondenza dei principali moduli di lavoro.

In generale, vengono riconosciute e delineate le problematiche che portano alla necessità di favorire un cambiamento verso l'economia circolare, data la rilevante quantità di rifiuti e l'ingente impegno di risorse ed energia grigia richieste dal settore della costruzione.

Nel progetto, dopo aver delineato le difficoltà nell'introduzione nel mondo della costruzione dei temi della decostruzione e del conseguente riuso dei materiali, ci si focalizza sulla determinazione delle caratteristiche e i requisiti tecnico/progettuali per una progettazione che consideri la fase di decostruzione e quindi di riuso integrale o semi integrale dei materiali (Design for disassembly) ed in generale, miri alla progettazione di edifici riutilizzabili per diverse destinazioni d'uso.

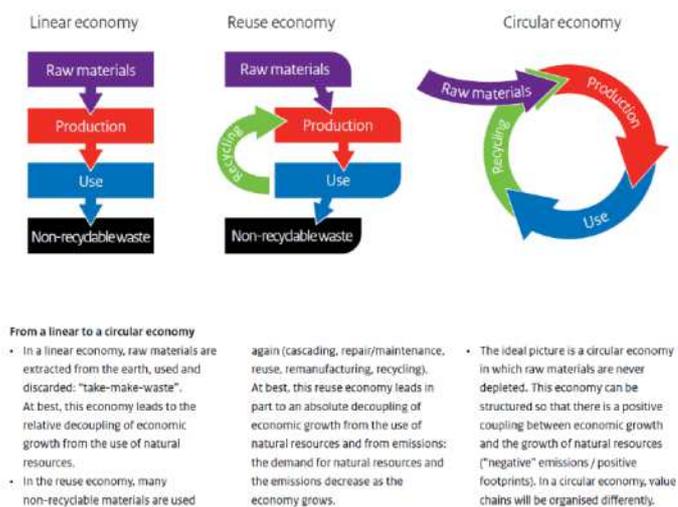


Figura 15 Dall'economia lineare all'economia circolare. Fonte: Government-wide Program 2015

La creazione/possibilità di una filiera del riuso è considerata la motivazione che porterebbe ad una decostruzione selettiva dell'edificio. A fronte delle criticità riscontrate nella diffusione della pratica del riuso, il progetto si focalizza sui criteri di una progettazione a nuovo che permetta direttamente di risolvere, dal punto di vista teorico, i problemi futuri nel ciclo di vita degli edifici.

Nell'ambito di questo grande progetto si sono evidenziate le criticità che possono ostacolare il diffondersi della pratica del riuso (e, in sostanza, della decostruzione):

- non corrispondenza tra offerta e domanda, in termini di quantità, qualità, luogo;
- tempi insufficienti per la decostruzione e lo smontaggio;
- mancanza di spazi adeguati, necessità di grandi spazi di stoccaggio in luoghi caratterizzati da alti costi di affitto;
- riluttanza ad usare materiali riutilizzati senza certificazioni di performance;
- le tecnologie costruttive sono un mix tra tecniche tradizionali e tecniche in rapida evoluzione;

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

- se il valore dei materiali è basso (rispetto al nuovo), la rimozione costa più del materiale stesso.

Il focus di questo progetto potrà fornire una solida base per un ev. sviluppo del progetto DeCo attuale, per i futuri moduli M7 / Riutilizzo: energia e materiali, volti a determinare i requisiti di una progettazione a nuovo mirata a favorire la decostruzione degli edifici.

Ai fini del presente progetto DeCo, volto alla decostruzione degli edifici, si riterranno e valorizzeranno le ricerche, le disamine e la cernita dei sistemi di assemblaggio degli edifici corredati dalle valutazioni sulla semplicità/difficoltà di disassemblaggio (Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19) riportate nell'ambito del progetto Bamb⁴³⁴⁴.

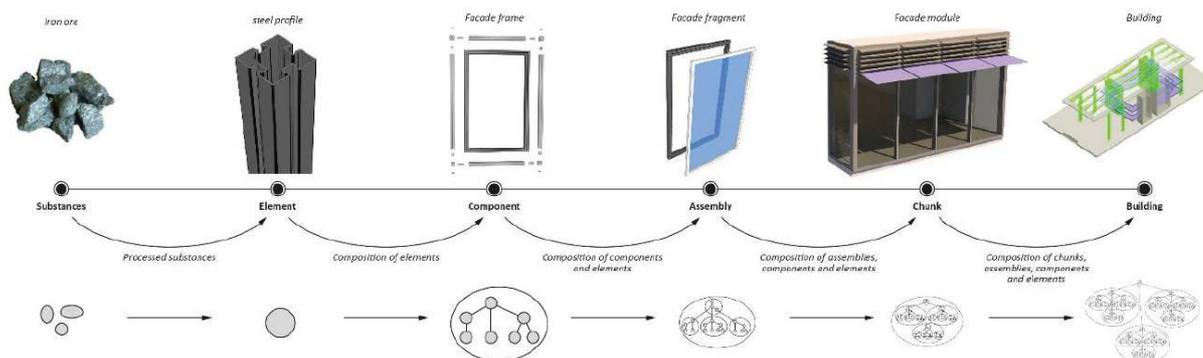


Figura 16 Sistematizzazione dei livelli di assemblaggio dalla materia prima all'edificio costruito⁴⁴

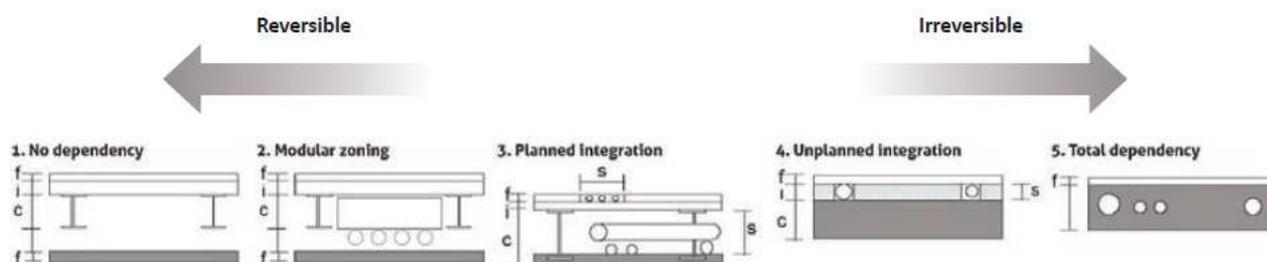


Figura 17 Tipi di integrazione impiantistica, soluzioni tecniche reversibili e irreversibili⁴⁴

43 WP3 - Reversible Building Design - Reversible Building design guidelines. Dr. Elma Durmisevic. Bamb – Building as material bank. Marzo 2018.

44 Circular economy in construction – Design Strategies for reversible buildings. Dr. Elma Durmisevic. Bamb – Building as material bank. 2019.

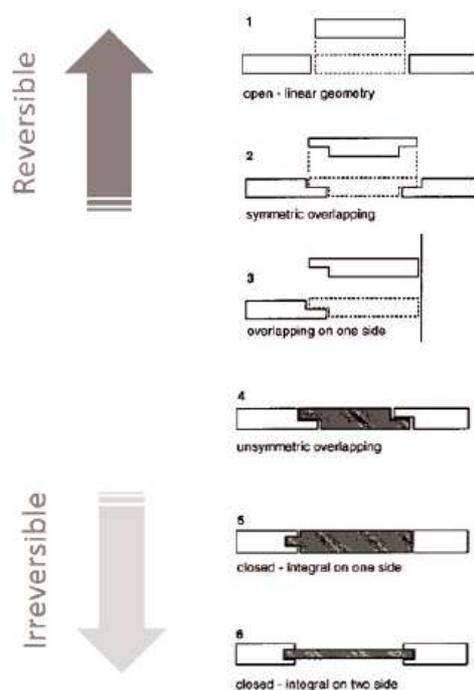


Figura 18 Tipi di congiunzioni tra elementi costruttivi, reversibili e irreversibili ⁴⁴

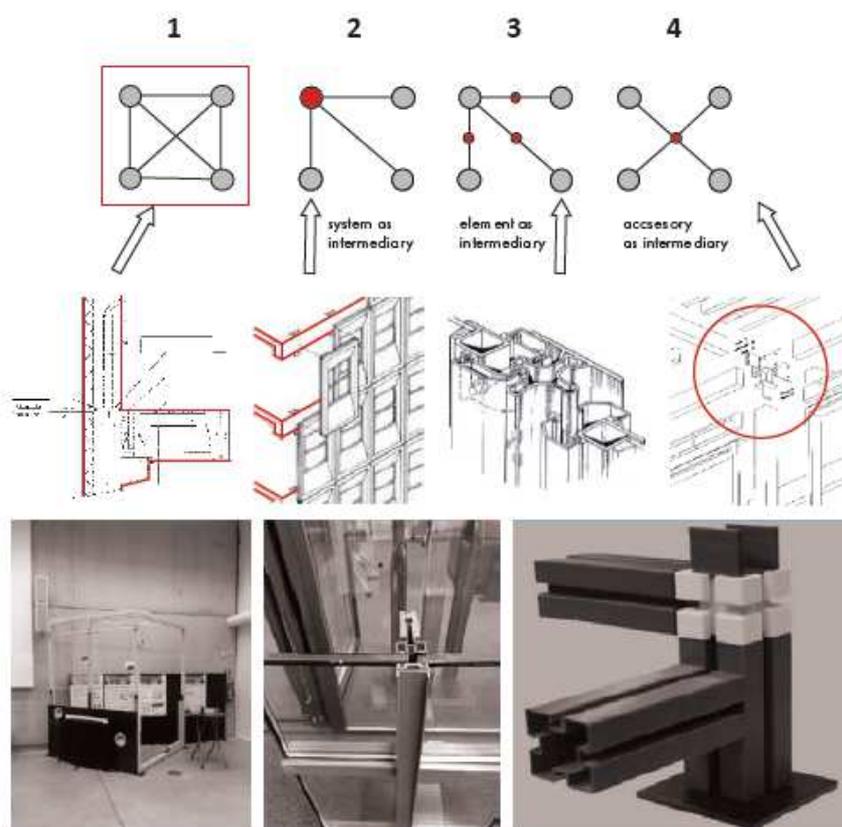


Figura 19 Sistematizzazione delle interdipendenze di assemblaggio dei diversi elementi costruttivi componenti una facciata continua ⁴⁴

Pubblicazioni internazionali

Si nota che, a livello internazionale, il tema della decostruzione viene affrontato dall'inizio degli anni 2000. Esistono circa una ventina di pubblicazioni che affrontano direttamente il tema della decostruzione dal livello particolare, occupandosi per esempio dalla decostruzione di alcune tipologie di edifici ben precisi (p.e. in legno⁴⁵) a fornire una overview dello stato della decostruzione in determinate nazioni⁴⁶ (Australia, Germania, Israele Giappone Olanda, Norvegia. Si assiste inoltre ad uno sforzo accademico di definizione⁴⁷ e distinzione dal punto di vista della nomenclatura delle diverse attività di demolizione, decostruzione, demolizione selettiva, ecc... Infine esistono pubblicazioni che riguardano l'analisi dei costi al fine di determinare gli ev. maggiori costi in caso di decostruzione⁴⁸.

Si segnala la recente pubblicazione della norma ISO 20887 Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance, 2020. Tale normativa contiene delle indicazioni di principio e delle definizioni che dovrebbero porre le basi (almeno come nomenclatura) per lo sviluppo di una cultura progettuale a nuovo che prevede già la possibilità di decostruire gli elementi dell'edificio.

Per ulteriori riferimenti, in merito alle tecniche di riciclaggio e agli approcci nei vari paesi, si rimanda ai capitoli 7.3,7.4.

7.2.2 Svizzera

In situ (Basilea/Zurigo)

L'ufficio d'architettura "in situ" (Basilea e Zurigo) è attivo da più di un trentennio sui temi della costruzione sostenibile e in particolare il riuso dei materiali da costruzione e degli elementi costruttivi. Fra i progetti in corso dell'ufficio, quello denominato K118 a Winterthur⁴⁹ comporta il risanamento e la sopraelevazione di un edificio industriale e la sua riconversione in attività commerciali. Per questo progetto la maggior parte dei materiali impiegati proviene dal riuso, sia per elementi strutturali, sia per elementi di finitura o serramenti e impiantistica. La fase di decostruzione è stata gestita dagli stessi architetti e lo smontaggio delle singole parti è stato effettuato dagli artigiani che avrebbero in seguito posato gli elementi nel nuovo cantiere, dopo che le ditte di demolizione non si erano dimostrate interessate a queste operazioni. Con l'aiuto degli specialisti si è effettuato un controllo e una valutazione degli elementi da decostruire per la loro selezione. La nuova costruzione risponde ai principi della progettazione per il riutilizzo, permettendo tramite assemblaggio delle parti, un loro smontaggio nel futuro.

Costruire le remploi (UFAM)

L'**Ufficio federale dell'Ambiente**, interessato ai temi di riduzione dei rifiuti, si è dimostrato sensibile ai temi del riuso dei materiali da costruzione commissionando uno studio⁵⁰ che delineasse lo stato dell'arte di tale ambito in Svizzera. Lo studio è mirato sul tema del riuso degli elementi costruttivi, in esso sono riportati dei sondaggi di opinione rivolti agli attori del settore edile dai quali è possibile dedurre informazioni di contesto utili anche in merito al tema della decostruzione. In merito ai temi che ostacolano il riuso dei materiali da costruzione attualmente **si citano temi correlati al costo della**

45 Deconstruction of wood-framed houses: Material recovery and environmental impact. Vasil Diyamandoglu, Lorena M. Fortuna. Resources, Conservation and Recycling 100 (2015) 21–30

46 Overview of Deconstruction in Selected Countries. Charles J. Kibert and Abdol R. Chini. University of Florida. 2000.

47 Comprehensive review of building deconstruction and salvage: deconstruction benefits and hurdles

48 An analysis of cost and duration for deconstruction and demolition of residential buildings in Massachusetts. Nasiru Dantata, Ali Touran, James Wang. Resources, Conservation and Recycling 44 (2005) 1–15

49 Intervista telefonica con Pascal Hentschel, Dipl. Ing. Arch., del 30.10.2020.

50 Construire le réemploi - état des lieux et perspectives: une feuille de route. Olivier de Perrot, arch. ETH SIA – Salza. Maude Friat-Massard – Matériuum. Mandant : Office fédéral de l'environnement OFEV. Accompagnement OFEV : Dr. David Hiltbrunner. Zurich - Genève, mai 2020

manodopera, che sarebbe un ostacolo alla fattibilità delle operazioni di decostruzione, l'inesperienza e le abitudini. In tale contesto è possibile affermare che **le presenti linee guida della decostruzione rispondono effettivamente ad una esigenza di competenze pratiche per gli operatori del settore.**

Borse dei materiali

Il tema del riutilizzo e del ciclo di vita degli edifici è di attualità. Negli ultimi anni sono state sviluppate in Svizzera diverse piattaforme per lo scambio di materiali e elementi costruttivi. Tali esperienze sono direttamente collegate al tema della decostruzione in quanto gli elementi devono di fatto essere smontati per poter essere poi esposti nelle piattaforme online di scambio/vendita. In Svizzera, SYPHON AG⁵¹, Bauteilclick.ch⁵², SALZA⁵³, Materium⁵⁴) cercano di stimolare il riutilizzo e il commercio dei materiali da costruzione ricavati dallo smontaggio di edifici esistenti. Tali materiali possono essere tipicamente porte, soffitti ribassati, tegole, pannellature, blocchi in pietra e laterizio, elementi lignei, ceramiche, ecc... Anche in Ticino è stata sviluppata la Borsa dei materiali⁵⁵ per lo scambio di materiali inerti, nel frattempo dismessa.

Tuttavia è possibile affermare che queste iniziative, pur encomiabili e utili, non sono ancora riuscite a suscitare una domanda di mercato consistente per elementi costruttivi dell'edificio che non siano arredamenti fissi o mobili o finiture, che abbia finora portato alla creazione di una filiera di riuso e decostruzione sistematica degli edifici.

NEST Next Evolution in Sustainable Building Technologies - EMPA

NEST⁵⁶ (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) è il primo edificio modulare che si configura allo stesso tempo come "prototipo" e centro di ricerca e innovazione. NEST, fondato dai due istituti di ricerca svizzeri Empa e Eawag, è stato inaugurato nel 2016 e attualmente è situato nel campus di Empa a Dübendorf (CH).

L'edificio che ospita il NEST, è stato progettato da Gramazio Kohler Architects⁵⁷, uno studio di Zurigo. Il complesso è costituito da un nucleo centrale che fa da "spina dorsale" e da tre piattaforme aperte, dove possono essere installati i singoli moduli (le "unità") destinati a "testare concretamente" elementi/sistemi tecnologici, dispositivi e strategie innovative frutto dell'attività delle unità di ricerca e innovazione; ciò permette di smontare queste unità una volta terminato il lavoro, facendo così spazio a nuovi moduli.

Le unità di particolare interesse che trattano il tema della circolarità nella costruzione, dei materiali e delle soluzioni tecniche smontabili e riusabili sono 3: Urban Mining & Recycling, Sprint, STEP2.

51 <http://www.syphon.ch/>

52 <https://www.bauteilclick.ch>

53 <https://www.salza.ch/it>

54 <https://materium.ch/>

55 ti.ch/boma

56 <https://www.empa.ch/web/nest/overview>

57 <http://www.gramaziokohler.com/web/d/bauten/196.html>

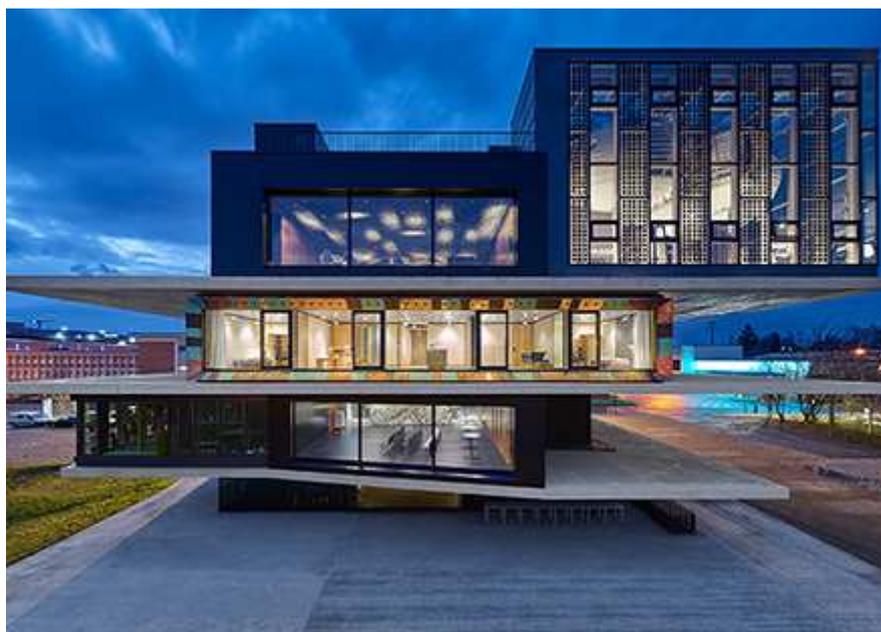


Figura 20 Visione di insieme dell'edificio NEST. Fonte EMPA, empa.ch

L'unità "**Urban Mining & Recycling**"⁵⁸ è un appartamento per due persone, che attraverso tutti gli elementi tecnici che la compongono sperimenta prodotti completamente riutilizzabili, riciclabili o compostabili. L'idea di fondo è creare cicli chiusi per i materiali e i componenti da costruzione, i quali non vengono consumati e poi smaltiti, ma sottratti temporaneamente al loro ciclo tecnico/ naturale e restituiti ad essi quando non servono più.

In questa unità sono applicate alcune soluzioni molto interessanti:

- **partizione verticale** del soggiorno composta da un telaio di tondini di acciaio disposti verticalmente in cui sono infilati mattoni forati, da rifiuti edili; il sistema non necessita di malta e i mattoni possono facilmente essere rimossi o sostituiti;
- **finiture dei mobili** della cucina realizzate con pannelli provenienti da rifiuti biologici, 100% cellulosa di scarto;
- **isolamento con lana di roccia** prodotta da pietra Svizzera locale che può essere riciclata completamente; ma anche isolamento in fibre di canapa stabilizzate con amido di mais e in fibre di Jeans ricavate dai rifiuti dell'industria tessile;
- **camere e locali** dell'unità realizzate con moduli tridimensionali prefabbricati in legno facilmente montabili e smontabili, con logica completamente in linea con principi di "Design to Deconstruct", come qualsiasi altro sistema dell'unità.

⁵⁸ <https://www.empa.ch/web/nest/urban-mining>



Figura 21 Montaggio e visione dell'interno del modulo Urban Mining & Recycling. Fonte: Photo © Zoey Braun, world-architects.com

L'unità "**Sprint**" è uno spazio per uffici realizzato in gran parte con materiali/componenti riutilizzati ed è progettata in modo che questi elementi possano essere facilmente smontati e ordinati per tipologia. Inoltre, se necessario, le singole postazioni di lavoro possono essere trasformate in spazi con altre funzioni.

Ecco alcune soluzioni applicate in "Sprint"

- **pareti divisorie con argilla come legante**, in modo da poi separare più facilmente i mattoni durante il processo di smantellamento.
- **sistema di facciata flessibile** costituito da elementi scatolari che consentono la sostituzione semplificata delle finestre; inoltre, sono state installate finestre nuove e recuperate come rifiuti pre-consumo, ovvero prodotti scartati per errori di produzione ma comunque nuovi e funzionanti.
- utilizzo per la composizione di sottostrutture e finiture di legno di varia provenienza, anche residuo dalla produzione di elementi di falegnameria.



Figura 22 NEST - Modulo Sprint Fotografia: Martin Zeller. Fonte EMPA, empa.ch

Infine, **STEP2** è un'unità ancora non ultimata. Si occuperà di **economia circolare**, fabbricazione industriale e digitale e soluzioni sostenibili per l'involucro edilizio e i sistemi energetici. Inoltre, è previsto il rafforzamento della collaborazione interdisciplinare tra i partner della ricerca e dell'industria per realizzare soluzioni immediatamente commerciabili. L'unità verrà costruita su due piani e fungerà da laboratorio e ambiente d'ufficio.

Ecco brevemente alcuni elementi progettati per l'unità:

- **scala a chiocciola** a forma di spina dorsale umana, il cui design e costruzione avviene attraverso digitalizzazione e l'impiego di stampanti 3D.
- **nuovo sistema di solaio nervato** ("Ribbed filigree slab") alleggerito, in grado di coprire vaste luci e di consentire una maggior efficienza nella gestione delle risorse rispetto alle soluzioni tradizionali
- **involucro adattivo**, altamente efficiente dal punto di vista energetico e capace di garantire comfort interno ottimale.

7.3 Materiali isolanti: separazione e riciclaggio

Quando si tratta di decostruire elementi che contengono materiali isolanti, è necessario distinguere tra le varie tipologie: pannelli isolanti, materassini, imbottiture e materiale sciolto.

Le difficoltà di applicare un approccio di demolizione selettiva risiedono nelle modalità costruttive di messa in opera di questi materiali.

Nell'ambito della ricerca bibliografica svolta in questa ricerca sono stati trovati esempi virtuosi, ancora poco diffusi perché il problema non ha portata così ampia. Tuttavia, riteniamo di estremo interesse riassumerne i principi per le potenzialità di sviluppo che esse comportano e per offrire alternative possibili alla prassi diffusa nell'ottica di perseguire logiche di economia circolare (riciclo/riuso dei materiali isolanti).

Materiali isolanti posati liberamente come materassini, feltri, nonché materiali isolanti soffiati o materiali isolanti colati, purché non impregnati o sporchi possono essere rimossi con relativa facilità. In teoria il materiale isolante installato con tecniche di assemblaggio a secco (per es.: connessioni meccaniche: viti, incastri, ecc.) può essere smontato o, in caso di materiale sciolto può essere aspirato.

È frequente che le lane minerali siano installate in sistemi costruttivi a secco. In questo caso uno smontaggio selettivo degli elementi costruttivi (facciate, coperture, pareti interne) è relativamente facile da realizzare. Se i pannelli in lana minerale vengono smontati e raccolti separatamente durante la decostruzione hanno solo una piccola percentuale di corpi estranei ed è quindi adatta per il riciclaggio nella produzione di nuova lana di roccia o di vetro. Eventuali corpi estranei sono meno problematici rispetto alla produzione di EPS/XPS, perché nella produzione di lana minerale anche le sostanze estranee inorganiche vengono fuse alle alte temperature e vengono incorporate nel prodotto o entrano nel flusso dei gas di scarico (materiale organico). Infatti, il riciclaggio interno nella produzione di prodotti isolanti in lana minerale è diffusa tra molti produttori (per es.: Flumroc, Isover Saint Gobain, Rockwool).

Lo smantellamento di un sistema a cappotto tipo ETICS e di altre costruzioni di pareti esterne dove i materiali isolanti sono incollati a materiali da costruzione minerali è sicuramente più impegnativa (sono necessarie operazioni manuali oppure con l'ausilio di apparecchiature specifiche come frese).

I pannelli in EPS/XPS possono essere staccati, in quanto la tecnica di incollaggio consente una separazione (si veda la Figura 23).

Lo smontaggio dei materiali isolanti, per quanto possibile, viene realizzata con l'ausilio di macchine. All'inizio della demolizione, eventuali coperture esistenti di facciate ventilate vengono rimosse. Poi, per mezzo di una pala dell'escavatore, si rimuovono meccanicamente i pannelli isolanti. Questa operazione rappresenta attualmente il metodo più veloce ed economico per rimuovere il materiale isolante ottenendo frazioni separate. Con questo metodo, tuttavia, **i pannelli vengono distrutti e le dispersioni in ambiente non sono totalmente evitabili, motivi per cui si raccomanda una separazione a mano.**

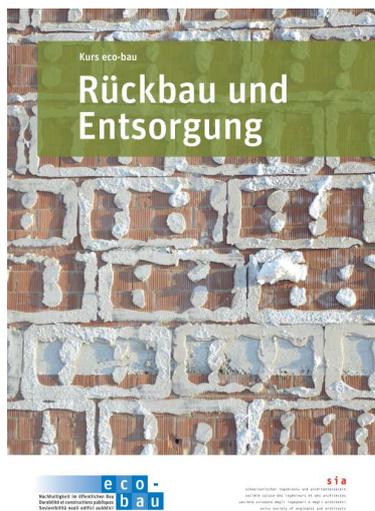


Figura 23 Locandina di un corso EcoBau - SIA. È illustrata una parete esterna a cui sono stati rimossi i pannelli isolanti. Sulla struttura muraria rimane l'adesivo usato per la posa dei pannelli.

Gli esempi applicativi di seguito proposti sono tentativi di smantellare gli ETICS incollati, con l'obiettivo di separare l'intonaco minerale della facciata dal pannello isolante, per recuperarlo il più possibile pulito.

Le difficoltà di decostruzione dei sistemi di isolamento a cappotto dipendono: (1) dalla composizione in strati del sistema che utilizza adesivi per l'unione, (2) dalla mancanza di transizioni visibili tra i diversi strati, (3) dalla finitura applicata in modo estensivo che crea apparentemente uno strato monolitico.

L'esperienza della Germania

Fonte: Albrecht W., Schwitalla C., Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS, Fraunhofer IRB Verlag, 2015.

Gli ETICS⁵⁹ (isolamenti a cappotto) sono applicazioni ampiamente utilizzate per l'isolamento degli edifici. Nella sola Germania, è stimato che tra il 1960 e il 2012 siano stati installati 900 milioni di m² di ETICS di cui l'80% utilizzato EPS come materiale isolante. La complessità del riciclo dell'EPS in ETICS risiede nel fatto che esso è un composito di diversi materiali come adesivi, rivestimento con rete di rinforzo e gesso. Mentre la maggior parte del volume di ETICS è l'EPS, il materiale isolante stesso rappresenta solo il 10% in termini di peso.

Fondamentalmente, lo smontaggio dei materiali isolanti dipende da come sono stati installati. Se il materiale è stato messo in opera in combinazione con altri materiali, spesso non è più possibile separarlo per strati. In particolare nel caso di isolamento in pavimenti in massetto o in tetti piani, i materiali isolanti sono spesso incollati al sottofondo utilizzando materiali da costruzione bituminosi, il che rende quasi impossibile la separazione.

La situazione è più promettente nell'ambito dell'isolamento delle pareti esterne, che peraltro è la più grande area di applicazione dei materiali isolanti in termini di quantità e volume. In questi casi una decostruzione sia di EPS / XPS che di lana minerale è possibile. Di fatto, in questo ambito ci sono esperienze interessanti come per esempio lo studio del *Fraunhofer Institute for Building Physics*⁶⁰, in cui viene analizzato lo smontaggio di EPS e XPS utilizzati in un sistema composito di isolamento termico (ETICS). Generalmente questi sistemi sono installati mediante incollaggio e tassellatura, poi intonacati (rinforzati con reti) e pitturati direttamente sulla superficie di facciata. In linea di principio, questo consente lo smontaggio a strati. Tuttavia, va considerato che questa operazione può essere

⁵⁹ ETICS (External Thermal Insulation Composit System) Sistema di isolamento a cappotto

⁶⁰ Albrecht W., Schwitalla C., "Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS", Fraunhofer IRB Verlag, 2015.

diversamente complessa e implicare tecniche di demolizione manuali che consentono di separare lo strato superiore, costituito dal composto di tessuto di rinforzo e malta, nonché intonaco e pittura, dalla schiuma rigida. In linea di principio, sarebbe anche possibile staccare selettivamente lo strato superiore e quindi i pannelli EPS / XPS con attrezzature di grandi dimensioni come gli escavatori a pala. Tuttavia, questo è piuttosto ingombrante e porta all'aumento della formazione di piccole particelle di EPS, che possono essere trasportate dal vento. Per questo motivo, in pratica, l'intero composito viene solitamente separato con una pala da escavatore. Una successiva separazione meccanica dello strato superiore dai pannelli in EPS / XPS è relativamente facile da eseguire con una tecnologia di processo adeguata a causa delle diverse densità dei materiali, ma oggi non è implementata nella pratica perché i volumi non sono ancora così rilevanti.

Altri metodi possibili sono la fresatura dello strato di intonaco con speciali fresatrici per facciate e lo stripping termico. Queste procedure sono state utilizzate solo in progetti pilota e devono essere ulteriormente sviluppate per un uso diffuso.

La rimozione completa del sistema a cappotto dalla parete perimetrale verticale esterna è oggi una pratica possibile: una volta che il sistema di finitura (intonaco) è stato rimosso tramite "strippaggio", i pannelli isolanti possono essere separati dal supporto murario e riciclati separatamente, ad esempio come aggregato per calcestruzzo alleggerito o, a dipendenza del tipo di materiale isolante, come materia prima secondaria⁶¹.



Figura 25 Rimozione strato intonaco di finitura. Strato isolante in pannelli in EPS. Uso di benna prensile meccanica per pelatura a macchina.



Figura 26 Rimozione strato isolante in pannelli in EPS. Uso di benna prensile meccanica.



Figura 24 Rimozione di un isolamento esterno di facciata con metodo parzialmente selettivo. Uso di demolitore selezionatore.

⁶¹ In Austria, per esempio, la richiesta di rifiuti di Airpop®(EPS) è così alta che ogni anno più di 100.000 m³ devono essere importati. I rifiuti di Airpop®(EPS) più sporchi vengono utilizzati per il recupero di energia. Nonostante questo, i "calcinacci" che comprendono Airpop®(EPS) possono essere depositati presso discariche ordinarie per rifiuti edili (fonte: [AIPE Associazione Italiana Polistirene Espanso EPS](#)).



Figura 28 Rimozione di un isolamento esterno di facciata con metodo parzialmente selettivo.



Figura 27 Isolamento esterno di facciata rimosso con metodo parzialmente selettivo.



Figura 29 Rimozione di un isolamento esterno di facciata con metodo parzialmente selettivo.



Figura 30 Rimozione manuale di finitura su isolamento esterno di facciata. A sinistra "strippaggio" dell'intonaco con relativa rete.



Figura 31 Rimozione manuale dello strato di intonaco. Strato isolante pannelli in EPS. Uso di utensili da taglio, scalpellatura e smerigliatrice (rimozione manuale).



Figura 32 Residui sulla muratura portante dopo l'asportazione di rivestimento con cappotto termico in EPS.

Fonte immagini: Kaiser Oliver S., VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 26: Rückbau im Hochbau – Aktuelle Praxis und Potenziale der Ressourcenschonung, 2019; Albrecht W., Schwitalla C., Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS, Fraunhofer IRB Verlag, 2015.

Casa-Clima: separazione di materiali isolanti dalla struttura

Fonte: Ifeu, Syneco, **Recupero dei materiali di demolizione di CasaClima**, su incarico della Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige Rip. 29 – Agenzia per l'ambiente, 2012.

Separazione dei materiali isolanti (tipicamente pannelli rigidi XPS, EPS) da pareti minerali (cls o muratura) con lo scopo di ottenere masse di materiali minerali di demolizione.

Ndr: l'obiettivo dello studio di seguito illustrato è quello di ottenere materiale minerale da demolizione il più possibile privo di resti di materiale isolante per la realizzazione di inerte riciclato di qualità. L'obiettivo non è quindi il riciclo del materiale isolante. comunque si è ritenuto un esempio valido per le modalità di demolizione selettiva proposte e sperimentate.

Questi materiali isolanti devono essere rimossi prima della vera e propria demolizione dell'edificio. La coesione tra supporto (struttura) e isolamento difficilmente si può scindere dopo la frantumazione negli impianti e nei processi di trattamento dei materiali di risulta; infatti, l'usuale separazione dei materiali in base al diverso peso specifico mediante un separatore ad aria o un separatore a letto fluido del tipo umido è difficilmente praticabile.

Al fine di soddisfare le caratteristiche tecniche richieste per i materiali minerali riciclati destinati alla costruzione di strade e contenere la percentuale di sostanze estranee, i frammenti di inerti, cui è attaccato il materiale isolante del sistema a cappotto, dovrebbero essere selezionati e scartati a mano dalla massa di materiale in fase di trattamento. Di conseguenza un impianto di trattamento dei materiali di risulta non accetterà masse così composte oppure lo farà a un prezzo di conferimento maggiore.

I sistemi termoisolanti a cappotto posso essere separati in modo selettivo dal resto dei materiali che costituiscono l'involucro con relativa facilità e in maniera rapida. Se l'isolamento è stato applicato esternamente, è possibile avvalersi di escavatrici munite di benne selettive che, grazie ai bordi acuminati, asportano il materiale termoisolante. A seguito di questa operazione rimane la parete che reca solo residui di colla e tasselli. Dopo la separazione del sistema termoisolante a cappotto rimangono, a seconda del sistema di fissaggio, ancora piccole quantità di collanti e resti di materiale termoisolante. Questi vanno separati dal resto del materiale in fase di trattamento delle masse di materiale da demolizione.

Questa tecnica di demolizione è attuabile senza difficoltà quando le pareti esterne siano facilmente accessibili con i mezzi necessari alla demolizione stessa.

In altre condizioni (assenza di spazi di manovra, ecc.) si dovrà utilizzare un ponteggio, o una piattaforma elevatrice, e staccare manualmente il materiale termoisolante dalle pareti. Questa eventualità comporta utilizzo di piccoli attrezzi. Ciò comporta maggiori oneri in termini di tempo e di personale impiegato, che tuttavia potrebbero compensarsi con un minor prezzo di conferimento praticato dagli impianti di trattamento dei materiali.

In generale l'isolamento a cappotto deve essere rimosso prima della vera e propria demolizione dell'edificio. La sua separazione dal resto dei materiali di demolizione in fase di trattamento non è fattibile o lo è a un costo elevato. La separazione del sistema termoisolante a cappotto in caso di ricorso a tecniche classiche di demolizione (es. mediante benna selettiva) è però attuabile con relativa facilità, soprattutto nel caso sia stato tradizionalmente impiegato un materiale isolante a base di polistirolo. Dopo la rimozione del sistema termoisolante a cappotto i muri esterni recano solo residui di colla e tasselli.

Saint-Gobain Weber: il caso di un sistema a cappotto riciclabile

Fonte: **Recyclingfähiges Wärmedämmverbundsystem**, in Detail selection: Recycling: Materialien, Systeme, Konzepte, 2020.

Separazione dei materiali isolanti per il riciclaggio come materia prima secondaria.

La Saint-Gobain Weber GmbH propone un sistema di isolamento a cappotto esterno (ETICS) riciclabile (weber.therm circle).

Il sistema permette un livello di separazione massimo, ogni tipo di componente e strato (materiale isolante, tasselli, tessuti e malte minerali) può essere separato e riciclato.

Vengono utilizzati pannelli isolanti in lana minerale che si aggrappano molto bene al substrato. Uno strato di separazione viene applicato sotto lo strato di rinforzo, in cui un tessuto è posto in una malta di separazione appositamente sviluppata. Questo tessuto viene “spogliato (strippato)” durante lo smontaggio, cioè afferrato dalla benna selettiva dell’escavatore e rimosso in modo pulito in strisce insieme all’intonaco. I pannelli vengono smontati e ogni fissaggio viene separato e recuperato.

Questo processo di decostruzione consente un riciclaggio efficace dei materiali grazie a un alto grado di purezza varietale del materiale e addirittura al riutilizzo degli elementi del pannello.



DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti



Decostruzione automatizzata: uno studio per lo sviluppo di un robot

Fonte: Lublasser E., Vollpracht A., Hildebrand L., Brell-Cockan S., “**Robot assisted deconstruction of multi-layered façade constructions on the example of external thermal insulation composite systems**”, in Construction Robotics, December 2017.

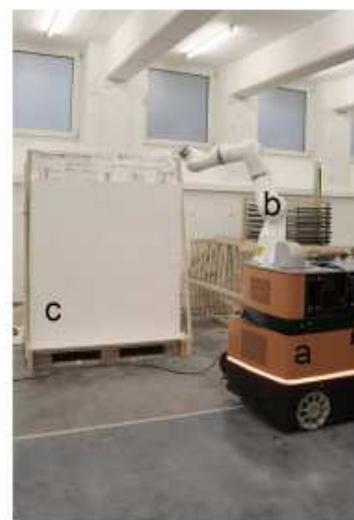
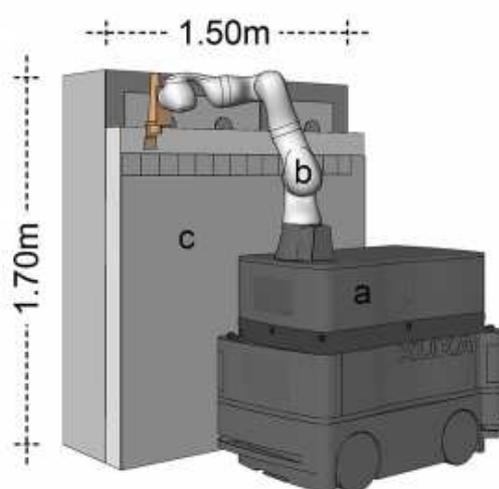
Sperimentazione della decostruzione robotizzata per sistemi di isolamento a cappotto.

Il progetto propone strategie di decostruzione automatizzate sviluppando processi di smontaggio attraverso l'utilizzo di robot.

Sperimentazione in laboratorio: decostruzione di facciate multistrato in particolare sistemi di isolamento termico che utilizzano pannelli di EPS.

Questi processi di decostruzione automatizzata consentirebbero un riciclaggio efficace dei materiali grazie a un alto grado di purezza varietale del materiale o addirittura al riutilizzo degli elementi del pannello.

Fig. 2 Robotic setup schematic (left) and as used in robot laboratory tests (right)



Per la rimozione automatizzata il robot è stato dotato di:

- Mandrino di fresatura e lama (spatola) diamantata, per il porzionamento e la rimozione della finitura.
- Tagliatrice a filo caldo, per la rimozione dell'isolamento EPS.
- Lama (spatola) diamantata, per la rimozione dell'adesivo.

7.4 Approcci nei diversi paesi

Esperienze nell'ambito della valorizzazione dei rifiuti edili.

Sono analizzati casi studio e ricerche innovative di settore con lo scopo di delineare lo scenario e lo stato dell'arte, verificare ipotesi già emerse e formularne nuove, nonché evidenziare alcuni nodi critici del riciclo/riuso dei residui da costruzione e demolizione.

Si è eseguita una ricerca bibliografica. In particolare è stata eseguita l'analisi di diverse realtà su base comparativa e l'individuazione dei possibili elementi di innovazione tecnico procedurale mutuabili.

Tutte le esperienze analizzate, seppur in contesti tecnologici e geografici differenti, hanno in comune gli obiettivi di:

- 1) **ridurre il volume dei rifiuti** da smaltire in discarica;
- 2) **limitare** l'estrazione di **materie prime**;
- 3) migliorare il controllo della qualità dei **materiali riciclati**.

Gli esiti dell'analisi sono stati riassunti in schede che facilitano la comparazione e mettono in evidenza gli aspetti rilevanti.

Al fine di incentivare lo sviluppo della cultura del riciclaggio/riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione in alcuni paesi sono state attuate opportune scelte di carattere politico-economico che hanno generato filiere dedicate a questi temi.

Le esperienze analizzate mostrano che i residui da costruzione e demolizione sono in gran parte recuperabili e che, nel settore delle costruzioni, è possibile utilizzare materiali ottenuti dal riciclaggio che, altrimenti, sarebbero trattati come rifiuti.

Nazione	DANIMARCA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Riduzione quantitativa dei rifiuti conferiti in discarica.
Attori	Soggetti responsabili della gestione dei rifiuti: Municipalità.
Strumenti	Regolamenti comunali relativi alla differenziazione dei rifiuti nel settore edile allo scopo di favorire l'attività di riciclo.
Discariche	Non esiste una differenziazione delle discariche in funzione dei rifiuti conferiti, ma solo delle aree destinate a materiali specifici (per es.: amianto, PVC, ecc.).
Tasse	Si: 1) applicate sui rifiuti destinati allo smaltimento in discarica e all'incenerimento; 2) applicate sulle materie prime come per esempio inerti di cava.
Esperienze o Progetti pilota	<p>VHGB in Danimarca (un centro di conoscenza indipendente) ha raccolto schede informative su tipiche sostanze pericolose nei rifiuti C&D con linee guida per una corretta manipolazione (best practice). Nella loro pagina web, sono elencate le sostanze pericolose tipiche trovate nei rifiuti C&D.</p> <p>Il Danish Technology Institute (DTI) ha elaborato <i>Materialeatlas</i> che, oltre a contenere una descrizione dei prodotti tipici da costruzione utilizzati durante i diversi periodi di costruzione, con particolare attenzione a quelli potenzialmente contenenti materiali pericolosi, fornisce una valutazione complessiva dell'idoneità della parte dell'edificio per il riciclaggio o il riutilizzo o meno.</p> <p>Questo documento fornisce una panoramica su quali sostanze pericolose ci si può aspettare. Nel database, con oltre 200 costruzioni e materiali elencati, sono stati utilizzati tre colori per fornire informazioni sull'idoneità al riciclaggio: verde per potenziale di riciclaggio e anche basso contenuto di sostanze pericolose, giallo per materiale potenzialmente riciclabile e potenzialmente contenente sostanze pericolose e rosso per materiali non idonei al riciclaggio e alto contenuto di sostanze pericolose.</p> <p><i>L'atlante dei materiali è uno dei risultati del progetto biennale InnoBYG "Uso e gestione dei rifiuti e delle risorse nelle costruzioni". Il progetto è una collaborazione tra due istituzioni: l'Istituto Tecnologico Danese (TI) e CINARK - Centro per l'Architettura Industriale presso la Scuola di Architettura dell'Accademia di Belle Arti in stretto dialogo con attori selezionati del settore delle costruzioni. L'atlante dei materiali del riciclaggio e del potenziale di riciclaggio dei materiali da costruzione è stato sviluppato principalmente da TI in collaborazione con partner commerciali pertinenti. L'atlante è concepito come una panoramica delle opportunità ambientali e delle barriere associate a un'ampia gamma di materiali da costruzione. Sarà in grado di fungere da opera di riferimento, in cui sarà possibile trovare rapidamente e facilmente informazioni su quali problemi ambientali sono associati a uno specifico materiale da costruzione di un determinato periodo. In tal modo, l'atlante può servire come parte degli studi iniziali nello sviluppo di nuove strategie di progettazione per il riciclaggio dei materiali da costruzione.</i></p>
Fonte	<i>MEE, Ministry of Environment and Energy.</i>

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

	Overgaard Zacho K., Mosgaard M., Riisgaard H., "Capturing uncaptured values – A Danish case study on municipal preparation for reuse and recycling of waste", Resources, Conservation & Recycling 136 82018), pp. 297-305.
--	--

Nazione	FRANCIA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Particolare attenzione viene posta alla gestione dei rifiuti pericolosi (cemento-amianto) che devono essere smaltiti in apposite discariche. Sono attive politiche di promozione dell'uso di materie prime secondarie. Obiettivo (2019): selezione dei rifiuti edili. Creazione di un repository informativo per sviluppare la professione verso un reale apprezzamento delle potenzialità tecniche e riutilizzo economico o recupero materiale. (2019) Progetto di legge contro i rifiuti e per l'economia, per consentire un libero recupero di rifiuti derivanti da attività di costruzione e demolizione di edifici.
Attori	Organizzazioni professionali che collaborano con lo Stato allo sviluppo di buone pratiche. <i>FEDEREC BTP</i> ha lavorato insieme ad altri 13 organizzazioni professionali rappresentanti gli attori del settore edile con lo scopo di stabilire un inventario della gestione dei rifiuti dell'edificio condiviso e consensuale. <i>FEDEREC BTP</i> mira a difendere o sviluppare il riciclaggio dei rifiuti da edificio fornendo materiali provenienti dal riciclaggio di qualità.
Strumenti	Proseguire il coordinamento tra le parti interessate per orientarsi verso un'organizzazione della gestione dei rifiuti edili più vicino alle specificità del settore delle costruzioni, la più economicamente efficiente e la più rispettosa degli investimenti già effettuati dagli industriali della raccolta differenziata. Garantire la tracciabilità per i materiali che non assumono lo stato di rifiuto o derivanti da uno stato di rifiuto per prevenire rischi ambientali a breve, medio e lungo termine. Istituire un osservatorio statistico regionale e nazionale per gestire e controllare gli obiettivi di raccolta e recupero dei rifiuti edili basato su uno strumento di tracciabilità. Rafforzare i controlli e le sanzioni per combattere efficacemente contro i depositi selvaggi; Aumentare le competenze dei professionisti che svolgono diagnosi dei rifiuti edili da integrare necessariamente a monte delle sfide della conservazione risorse attraverso un'adeguata normazione.
Discariche	Apposite discariche per prodotti pericolosi.
Tasse	I gestori delle discariche applicano una tassa sui rifiuti da costruzione e demolizione.
Esperienze o Progetti pilota	Edificio residenziale (costruzione: metà 1800): 50% demolito con metodi tradizionali e 50% con demolizione selettiva al fine di comparare due diversi sistemi di demolizione. Edificio residenziale a Marsiglia in C.A. (smantellamento preventivo di tutte le parti recuperabili prima della demolizione della struttura con cariche esplosive).
Fonte	Centre Experimentel de Reserches et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publics. ADAME, Agence de la transition écologique. Ministère de Ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales. <i>FEDEREC</i> , Fédération professionnelle des entreprises du recyclage (Federazione professionale delle aziende di riciclaggio).

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Nazione	BELGIO
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Uso di materiale riciclato nelle nuove costruzioni (soprattutto in ambito di edilizia pubblica).
Attori	Singole amministrazioni delle tre Regioni del Belgio (Fiandre, Vallone e Bruxelles).
Strumenti	<p>Strumenti di concertazione tra i soggetti coinvolti nella gestione dei rifiuti.</p> <p>Fiandre: Ordinanza sulla prevenzione e gestione dei rifiuti (<i>VLAREA: Flemish Regulation on Waste Prevention and Management</i>). Legislazione quadro sulla gestione dei cicli dei materiali e rifiuti (Decreto Rifiuti e Materiali). Il decreto prevede che venga determinata la qualità dei rifiuti che vengono utilizzati come materie secondarie.</p> <p>Per legge ai progetti che generano oltre 1000 m³ di detriti è richiesto di presentare un piano di “decostruzione” e inventario dei rifiuti e i progettisti sono responsabili del riciclaggio dei rifiuti.</p> <p>L'uso di materiali riciclati è incentivato soprattutto nell'edilizia pubblica tramite lo sviluppo di specifiche norme tecniche.</p>
Discariche	Esistono discariche specializzate per i rifiuti speciali.
Tasse	Sì, <i>tassa ambientale che può essere ridotta se i rifiuti vengono pre-trattati.</i>
Esperienze o Progetti pilota	<p>Nell'ambito del progetto <i>Siti pilota per la gestione innovativa dei rifiuti da costruzione</i> (www.cpdb.brussels), un certo numero di pratiche innovative è stato testato su 17 siti di Bruxelles in collaborazione con diverse grandi e piccole imprese.</p> <p>Questa esperienza ha mostrato chiaramente che una buona preparazione era essenziale per fare scelte in termini di gestione dei rifiuti. Stimando le portate sulla base di un rilievo quantitativo, per esempio, è possibile decidere se raccogliere separatamente o meno determinate frazioni (cartongesso o membrane bituminose).</p> <p>Demolizioni: quando i rifiuti diventano una risorsa, anche nel caso delle demolizioni, è preferibile procedere in modo selettivo e trattare separatamente i diversi flussi. Questo tipo di attività non va quindi più considerata come un generatore di rifiuti, ma come un produttore di materiali riutilizzabili. Per fare ciò, è importante redigere un inventario qualitativo delle demolizioni. Infatti, valutando correttamente le quantità di materiali prodotti e la loro qualità, siamo in grado di preparare al meglio i lavori di demolizione e organizzare in modo ottimale la raccolta selettiva. Questo documento dovrebbe quindi includere tutti i contaminanti e le sostanze pericolose, la BBRI (Belgian Building Research Institute) sta sviluppando una metodologia per includere materiali e componenti potenzialmente riutilizzabili nell'inventario delle demolizioni.</p> <p>Ulteriore sfida per il futuro è la raccolta selettiva in caso di ristrutturazione. Poiché i lavori di ristrutturazione vengono spesso eseguiti in fasi diverse durante le quali vengono sostituiti, adattati o riparati specifici elementi costruttivi, essi costituiscono un'interessante fonte di flussi di rifiuti specifici (telaio o piastrelle, ad esempio). La sfida qui è organizzare la raccolta logistica di questi flussi e renderla economicamente sostenibile. In pratica, ciò richiederà una maggiore enfasi su sistemi di raccolta innovativi, logistica inversa e collaborazione con fornitori e produttori di materiali. Il Centro di consolidamento delle costruzioni di Bruxelles (BCCC - Brussels Construction Consolidation Centre) sta sperimentando questo problema combinando l'organizzazione logistica dell'approvvigionamento di nuovi materiali con la logistica inversa della raccolta dei rifiuti recuperabili.</p>
Fonte	<p><i>OVAM, Flemish Public Waste Agency (gestione dei rifiuti delle Fiandre)</i></p> <p><i>IBGE/BIM, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement/Brussels Instituut voor Milieubeheer.</i></p> <p><i>Confédération the Construction Wallone.</i></p> <p>http://resolver.tudelft.nl/uuid:adf640a5-258b-42ce-bd94-752655abaeda</p> <p><i>Vergauwen A., Vrijders J., Recycler (encore) mieux les déchets de construction et de démolition, CSTC-Contact 2020/1</i></p> <p><i>Romnée A., Billiet L., Mahieu O. and Vrijders J., Deconstruction, preparation for reuse and reuse of salvaged materials on a pilot construction site in Brussels, International HISER Conference, Delft, 2017.</i></p>

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Nazione	FINLANDIA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Riutilizzo degli elementi da costruzione in seguito a demolizione. (Prospettive) Riciclaggio di alta qualità: richiedere frazioni di rifiuti omogenee che potrebbero essere implementate quando il materiale di scarto viene smistato durante o dopo la demolizione di edifici da ditte specializzate. Per garantire una minore contaminazione deve essere eseguita una valutazione dell'inventario prima della demolizione.
Attori	Pubblici e privati (aziende di
Strumenti	<i>Planning and Building Act</i> , impone ai costruttori di avvisare le autorità prima demolizione; fornendo anche dettagli sulla quantità di rifiuti e su come sarà gestito. Impone di organizzare la raccolta differenziata dei rifiuti per garantire che una quantità significativa di rifiuti possa essere riutilizzata, riciclata o recuperata. La raccolta differenziata dei rifiuti è obbligatoria per alcune tipologie di rifiuti che include i rifiuti minerali e ceramici contenente cemento, mattoni e piastrelle.
Discariche	Sono pochissime, in quanto la percentuale di rifiuti che va in discarica è ridotta. Non esistono discariche specifiche per i rifiuti edili.
Tasse	Si.
Esperienze o Progetti pilota	<i>ReUse-project financed by the Finnish Ministry of the Environment</i> , riguarda la valutazione di opportunità e ostacoli per il riuso di elementi strutturali. <i>Zenrobotics Recyclers</i> , riguarda lo sviluppo del sistema di riciclaggio robotico (ZRR) che sceglie le materie prime (legno, plastica, metallo, pietra, calcestruzzo, ecc.) da rifiuti di costruzione e demolizione. <i>HISER-project "Holistic Innovative Solutions for an Efficient Recycling and Recovery of Valuable Raw Materials from Complex Construction and Demolition Waste"</i> , l'obiettivo principale è quello di sviluppare e dimostrare nuove soluzioni olistiche convenienti (tecnologiche e non tecnologiche) per un maggiore recupero di materie prime da rifiuti di costruzione e demolizione sempre più complessi (C&DW) considerando approcci di economia circolare lungo tutta la catena del valore degli edifici (dagli edifici fuori uso ai nuovi edifici). Sito: HISER Project Home
Fonte	VTT, <i>Tecnical Research Centre of Finland</i> .

Nazione	SVEZIA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Incentivare le operazioni di riciclaggio e recupero di materia prima ed energia. Attenzione maggiormente concentrata sui rifiuti pericolosi prodotti dalle demolizioni. Stabilire standard e norme tecniche per facilitare il riuso o il riciclaggio dei materiali edili.
Attori	Pubblici.
Strumenti	<i>Environmental Code (Miljöbalken)</i> e la legge sulla pianificazione e la costruzione <i>Planning and Building Act (Plan och Bygglag)</i> . Il codice stabilisce requisiti generali riguardo a condizioni dell'ambiente e monitorando indirettamente anche la gestione dei rifiuti C&D; descrive la gerarchia dei rifiuti (prevenzione, riutilizzo, riciclo, recupero e smaltimento dell'energia) in modo simile al Waste della Commissione Europea Direttiva quadro (2008/98/CE). Il <i>Planning and Building Act</i> , prevede l'obbligo di indicare nell'autorizzazione edilizia le quantità e la tipologia dei rifiuti che saranno prodotti durante il cantiere, le modalità di trasporto ai centri di stoccaggio e di trattamento in discarica. Quindi applica un processo di controllo per attività di costruzione e demolizione, per cui il trattamento e smaltimento dei rifiuti proveniente da queste attività devono essere gestiti con un piano di controllo. Gli aspetti relativi ai rifiuti all'interno di questo piano di controllo si limitano a una documentazione della manipolazione sicura e del corretto smaltimento di rifiuti pericolosi. Il piano di controllo è spesso preceduto da un inventario dei rifiuti derivanti dalla demolizione degli elementi edilizi. È responsabilità principale del costruttore redigere il controllo, pianificare ed eseguire la costruzione o la demolizione in conformità ad esso.
Discariche	Non esistono prescrizioni particolari per lo smaltimento di in discarica ma, dal 2002, è vietato il conferimento di tutti i materiali che possono essere inceneriti. Gli aspetti di smistamento sono definiti a seconda del tipo di materiale, composizione pericolosa e desiderabile, metodo di smaltimento nelle vicinanze del sito.
Tasse	Si.
Esperienze o Progetti pilota	<i>Project Constructivate</i> : il progetto si concentra su norme e regolamenti, progettazione di logistica e modelli di business. Il progetto sviluppa la tracciabilità dei materiali durante il tempo di demolizione e la motivazione economica per gli appaltatori a demolire in modo appropriato.
Fonte	<i>Sweden's National Board of Housing, Building and Planning (Boverket)</i> . <i>Swedish Construction Federation (Sveriges Byggindustrier)</i> . <i>SGBC, Sweden Green Building Council</i> .

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

Nazione	OLANDA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Promuovere la separazione dei rifiuti a monte con il fine di ottenere la massimizzazione nel trattamento dei rifiuti (riciclo e riuso).
Attori	Governo Olandese
Strumenti	<i>Construction and Demolition Waste Implementation Plan</i> , per cui è vietato lo smaltimento in discarica dei rifiuti da C&D che possono essere recuperati o riciclati. Esiste un sistema di certificazione dei “demolitori/decostruttori” di edifici. La normativa vigente mira alla ottimizzazione dei prodotti riciclati attraverso la definizione di obiettivi minimi di riciclaggio; la predisposizione di piani di decostruzione che indichino le diverse fasi di smontaggio; la separazione di componenti e materiali che possono causare una diminuzione di qualità delle materie prime secondarie.
Discariche	---
Tasse	Sì, per lo smaltimento con diverse aliquote.
Esperienze o Progetti pilota	Elevata specializzazione raggiunta nel settore delle tecniche di demolizione e trattamento dei rifiuti. <i>TUDelft: Degradation model</i> . È un modello di supporto alle decisioni per il riutilizzo degli elementi, componenti e materiali dell’edificio. Lo scopo è quello di fornire indicazioni su come utilizzare i rifiuti edili.
Fonte	Loriane ICIBACI. Ri-uso di prodotti da costruzione nei Paesi Bassi. A+BE Architettura e ambiente costruito, [S.l.], n. 2, p. 1-422, gennaio. 2019. ISSN 2214-7233.

Nazione	AUSTRIA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Riciclare quanti più materiali da costruzione possibile.
Attori	BRV, si tratta di un’associazione volontaria di imprese di riciclaggio che rappresenta gli interessi dell’industria del riciclaggio dei materiali da costruzione. L’Associazione funge da contatto per clienti privati e pubblici/autorità federali, province, comuni, associazioni speciali in materia di riciclaggio dei materiali da costruzione.
Strumenti	<i>Waste Management Act 2002</i> , legge federale sulla gestione sostenibile dei rifiuti, che obbliga le imprese di costruzioni a separare e recuperare i rifiuti riciclabili. <i>Recycling Building Material Ordinance</i> , ordinanza federale sugli obblighi relativi alle attività di costruzione e demolizione, separazione e trattamento dei rifiuti durante la costruzione, la produzione e i rifiuti di riciclaggio dei materiali da costruzione. Obiettivo dell’ordinanza è promuovere il riciclaggio e l’efficienza dei materiali, in particolare la preparazione al riutilizzo di materiali da costruzione che garantiscano un’elevata qualità dei materiali da costruzione riciclati per promuovere il riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione ai fini degli obiettivi del diritto dell’UE. “Guidelines for recycled building materials” elaborate dall’associazione <i>Austrian Quality Protection Association for Recycled Building materials</i> . Queste linee guida specificano i requisiti di qualità per i materiali riciclati che sono prevalentemente utilizzati nell’ingegneria civile. Ad integrazione delle suddette linee guida c’è il “Regolamento per l’assegnazione del marchio di qualità per i materiali da costruzione riciclati”. Questa importante base consente di controllare, attraverso laboratori esterni autorizzati, se i materiali da costruzione riciclati sono prodotti correttamente in termini di qualità. I produttori di materiali da costruzione riciclati che inviano i loro prodotti per i test alla "Associazione per la protezione della qualità dei materiali da costruzione riciclati" ricevono quindi il "Marchio di qualità per i materiali da costruzione riciclati", che può essere utilizzato per i materiali da costruzione riciclati per i quali la conformità alle linee guida, prova che specifiche tecniche e normative sono state verificate. Le Linee guida di BRV/GSV garantiscono che vengano utilizzati solo materiali da costruzione riciclati che hanno avuto un controllo di qualità. Ciò rende possibile, nel prossimo futuro, che anche i rifiuti di demolizione degli edifici possano essere riciclati su vasta scala. Un tale approccio è, senza dubbio, preferibile alla messa in discarica per ragioni sia ecologiche che economiche. In generale il riciclaggio si considera economicamente vantaggioso se il costo dell’operazione non supera del 25% quello relativo allo smaltimento in discarica. Esiste una borsa telematica per i rifiuti inerti da C&D e per i materiali riciclati: Recycling Borse Bau.
Discariche	---
Tasse	Sì, per il conferimento in discarica dei rifiuti.
Esperienze o Progetti pilota	Riutilizzo dei rifiuti da costruzione: è stato sperimentato con successo da <i>BauKarussell Project</i> un nuovo modello di business per lo smantellamento di grandi edifici, consentendo il riutilizzo di componenti edili e di alto valore il riciclaggio. BauKarussell svolge lavori di decostruzione a Vienna per conto di Bundesimmobiliengesellschaft mbH (BIG). Sito: BauKarussell – Beschäftigung & Kreislaufwirtschaft
Fonte	BRV, <i>Austrian Construction Materials Recycling Association (Österreichischer Baustoff-Recycling Verband)</i>

Nazione	GERMANIA
Obiettivi delle politiche di gestione dei rifiuti	Ridurre il volume dei rifiuti smaltiti in discarica. Miglioramento e controllo della qualità dei materiali riciclati. Dare priorità alle attività di riciclo e recupero rispetto a quelle di smaltimento ogni volta che sia tecnicamente ed economicamente possibile e quando esiste un mercato che può sostenerle.
Attori	---
Strumenti	<i>Closed Substance Cycle Waste Management Act (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, KrW-/AbfG)</i> , legge per la promozione della gestione dei rifiuti a ciclo chiuso delle sostanze e il conseguente smaltimento dei rifiuti compatibili con l'ambiente. È obbligatorio fornire una documentazione relativa alla destinazione dei rifiuti edili (smaltimento o riciclaggio). I rifiuti pericolosi necessitano di una procedura speciale di denuncia.
Discariche	---
Tasse	Si. Le tariffe per lo smaltimento sono variabili in funzione del tipo di rifiuto. I rifiuti non selezionati hanno tariffe molto elevate.
Esperienze o Progetti pilota	Numero elevato di progetti di demolizione selettiva, finanziati, per la maggior parte, dal Ministero dell'Ambiente.
Fonte	LAGA (Länder Working Group Waste Gruppo di lavoro federale/statale sui rifiuti) Construction and Demolition Waste management in Germany V2, September 201. Schultmann F., Deconstruction in Germany – Report 2, CIB 1295.

Si comprenderà che non mancano iniziative nel settore per migliorare il riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione, anche se resta necessario intensificare gli sforzi per garantirne la sostenibilità economica.

Sono necessarie azioni specifiche da parte di diversi partner in particolare:

- messa in atto di incentivi e regolamenti e tasse da parte delle autorità pubbliche;
- introduzione di innovazioni nel settore delle costruzioni;
- formazione di professionisti con specifiche competenze.

Nei paesi del Nord Europa si riscontrano i livelli più elevati di riciclaggio e di riutilizzo dei rifiuti C&D, risultato ottenuto grazie a una politica fortemente integrata di provvedimenti quali:

- **imposizione di tasse** sullo smaltimento in discarica con conseguente limitazioni di messa in discarica;
- **prescrizioni restrittive per lo smaltimento** (in particolare per i rifiuti recuperabili);
- **collaborazioni tra diversi attori** (pubblici e privati) per definire e sperimentare, su casi studio reali, le opportunità e barriere di riutilizzo e riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione.

Nelle conclusioni del rapporto “Construction and Demolition waste management practises and their economic impact” della commissione europea DGXI⁶², si legge che per massimizzare il riuso di materiali e componenti è necessaria la separazione dei materiali alla fonte, soprattutto attraverso la demolizione selettiva e il disassemblaggio, nonché una buona gestione e organizzazione del cantiere. Emerge chiaramente che la valorizzazione dei rifiuti edili dipende soprattutto dall'omogeneità del materiale. Di fatto, uno degli obiettivi da perseguire nelle pratiche di decostruzione/demolizione selettiva è quello di mettere in opera procedure, mezzi tecnici e organizzativi per evitare (o limitare al massimo) la messa in discarica.

L'opportunità di riciclare/riusare un materiale dipende da molteplici fattori, tra cui: la composizione e la costanza qualitativa, la facilità di prelievo, le possibilità tecniche di riciclaggio e la presenza, quindi, di un mercato, nonché la competitività del prodotto in termini economici rispetto alle materie prime.

⁶² Commissione europea DGXI, rapporto “Construction and Demolition waste management practises and their economic impact” (1999), Symonds with Argus.

L'adozione di questi processi virtuosi dipende da una maggior consapevolezza degli operatori e da azioni normative mirate. La rapida e diffusa applicazione dipende invece dalla capacità di organizzare una rete efficace di luoghi di conferimento dei residui, alternativi alle discariche, ed in grado di trattare e valorizzare le diverse frazioni ottenute separando i rifiuti da C&D. Questa rete, che sul territorio dovrebbe essere capillare, è condizione essenziale per indurre gli operatori ad adottare metodiche di demolizione selettiva e separazione all'origine.

Le esperienze analizzate⁶³ evidenziano come vi sia uno significativo scollamento tra ricerca e situazione reale, principalmente legata alla, ancora, poco diffusa sensibilizzazione degli attori coinvolti e alla non evidente convenienza economica della pratica della decostruzione.

⁶³ Hendriks, C.F., Janssen, G.M.T., "Use of recycled materials in constructions". *Mat. Struct.* **36**, 604–608 (2003). <https://doi.org/10.1007/BF02483280>.

Cai, G., Waldmann, D. Una banca di materiali e componenti per facilitare il riciclo dei materiali e il riutilizzo dei componenti per una costruzione sostenibile: concetto e studio preliminare. *Clean Techn Environ Policy* **21**, 2015-2032 (2019).

Building with Reclaimed Components and Materials, A Design Handbook for Reuse and Recycling, Bill Addis Publisher, CRC Press, 2012.

Overview of Deconstruction in Selected Countries CIB Report ISBN 0-9643886-3-4 Publication 252 Edited by Charles J. Kibert and Abdol R. Chini University of Florida.

8 M3 Decostruzione pratica

ABSTRACT (IT)

In Svizzera, allo stato attuale, il settore delle demolizioni non prevede attività di decostruzione standardizzate. Alcune prime esperienze nella demolizione di edifici o parti di edifici isolati, di età recente, sono state già fatte e si evidenzia, in questi casi, una maggiore difficoltà di gestione dei rifiuti. Si riconosce quindi l'urgenza di affrontare il tema della decostruzione dato che, nei prossimi anni, il problema della miscelazione dei rifiuti potrebbe aggravarsi a causa della demolizione di edifici recenti, con pacchetti costruttivi complessi e stratificati.

Il progetto DeCO, difatti, sviluppa linee guida per la decostruzione e lo smontaggio degli edifici isolati di recente costruzione, per impostare la futura gestione dei rifiuti da cantiere. Al fine di contestualizzare il progetto, il presente documento analizza la situazione attuale in Ticino del settore delle demolizioni e delle operazioni di recupero/smaltimento dei materiali da costruzione.

In primo luogo, sono state contattate le principali aziende ticinesi che si occupano di riciclaggio, demolizione, e bonifiche in edilizia. Presso ciascuna delle ditte partecipanti sono state eseguite interviste e visite agli impianti. Dalle interviste è principalmente emerso che le aziende riconoscono l'importanza del progetto proposto come possibile soluzione al problema della miscelazione post-demolizione tra gli isolamenti termici e i materiali inerti. Inoltre, si è giunti a una descrizione della situazione attuale in merito alla separazione dei rifiuti: metalli e legno sono separati ed esistono filiere per il loro recupero; lo stesso vale per i rifiuti minerali se opportunamente differenziati; le lane minerali solitamente confluiscono in discarica, mentre per quanto riguarda gli isolanti derivanti dal polistirolo, in Svizzera interna sono presenti alcune filiere per il recupero. Vengono poi evidenziate le attuali criticità che ostacolano separazione e recupero dei rifiuti da cantiere, queste sono principalmente di natura logistica ed economica, soprattutto legate a un incremento dei costi che queste attività comporterebbero rispetto al conferimento in discarica o all' esportazione all'estero. Successivamente, le aziende sono state interpellate in merito alla fattibilità di implementare le linee guida DeCO e a quali proposte pragmatiche ne agevolerebbero l'applicazione. Ulteriore aspetto emerso è che di principio c'è un grande potenziale di riuso dei materiali da costruzione ma attualmente l'attività viene eseguita in modo informale da alcune imprese su scala molto limitata e sporadica per alcuni elementi costruttivi.

In secondo luogo, sono stati interpellati i rappresentanti locali dei principali produttori/importatori di isolamenti termici in Svizzera con lo scopo di chiarire se esistono politiche di ritiro dei materiali dai cantieri e successive operazioni di riciclaggio. Ciò avviene, ma in quantità limitate perché le aziende ritirano solo alcuni dei materiali e se di loro produzione.

Infine, lo studio descrive un caso studio di demolizione eseguito su un edificio costruito tra il XIX e XX secolo, nel centro di Lugano secondo lo stato dell'arte attuale.

In conclusione, si mostra come la decostruzione, finalizzata alla valorizzazione dei rifiuti risultanti dalle demolizioni previste in un futuro prossimo, sia fattibile in Ticino a fronte di diverse condizioni quadro. Il settore delle demolizioni ne può beneficiare e la redazione di linee guida che ne regolarizzino la pratica sono un utile strumento di riferimento per il settore.

ABSTRACT (FR)

En Suisse, il n'existe actuellement aucune activité de déconstruction standardisée dans le secteur de la démolition. Quelques premières expériences de démolition de bâtiments ou de parties de bâtiments récents isolés ont été faites, et ceci a montré que la gestion des déchets est plus difficile. Il est donc reconnu qu'il est urgent de se pencher sur la question de la déconstruction car, dans les années à venir, le problème du mélange des déchets risque d'être accru par la démolition de bâtiments récents dont les systèmes constructifs sont complexes et stratifiés.

Le projet DeCO, élabore des lignes directrices pour la déconstruction et le démontage des bâtiments récents isolés, afin de définir la gestion future des déchets de construction. Dans le but de contextualiser le projet, ce document analyse la situation actuelle au Tessin du secteur de la démolition et de la récupération/élimination des matériaux de construction.

Tout d'abord, les principales entreprises tessinoises impliquées dans le recyclage, la démolition et l'assainissement dans la construction ont été contactées. Des entretiens et des visites des installations ont été menés dans chacune des entreprises participantes. Les entretiens ont principalement révélé que les entreprises ont reconnu l'importance du projet proposé comme une solution possible au problème du mélange post-démolition entre les isolants thermiques et les matériaux inertes. En outre, la situation actuelle en matière de tri des déchets a été décrite : les métaux et le bois sont séparés et il existe des filières pour leur récupération; cela vaut également pour les déchets minéraux s'ils sont correctement triés; la laine minérale est généralement mise en décharge; tandis que pour l'isolation en polystyrène, il existe quelques filières de récupération en Suisse alémanique. Les problèmes critiques actuels qui constituent un obstacle au tri et à la valorisation des déchets de chantier ont ensuite été mis en évidence: ils sont essentiellement de nature logistique et économique, principalement liés à l'augmentation des coûts que ces activités entraîneraient par rapport à la mise en décharge ou à l'exportation à l'étranger. Ensuite, les entreprises ont été interrogées sur la faisabilité de la mise en œuvre des lignes directrices de DeCO et sur les propositions pragmatiques qui faciliteraient leur mise en œuvre. Un autre aspect qui a été mis en évidence est qu'il existe en principe un grand potentiel de réemploi des matériaux de construction, mais à l'heure actuelle, cette activité est pratiquée de manière informelle par certaines entreprises à une échelle très limitée et sporadique pour certains éléments de construction.

Deuxièmement, des représentants locaux des principaux fabricants/importateurs d'isolants thermiques en Suisse ont été interrogés afin de vérifier s'il existe des politiques de reprise des matériaux sur les chantiers et des opérations de recyclage ultérieures. Cela se produit, mais en quantités limitées, car les entreprises ne reprennent qu'une partie des matériaux et seulement de leur production.

Enfin, l'étude décrit un cas de démolition réalisé sur un bâtiment construit au début du XXe siècle dans le centre de Lugano selon l'état actuel de la technique de démolition.

En conclusion, il est montré comment la déconstruction, visant à valoriser les déchets issus des démolitions prévues dans un futur proche, est réalisable au Tessin dans différentes conditions cadres. Le secteur de la démolition peut en bénéficier et la rédaction de lignes directrices pour en aligner la mise en œuvre constitue un précieux outil de référence pour le secteur.

ABSTRACT (DE)

Im Abbruchsektor gibt es derzeit in der Schweiz keine standardisierten Rückbauaktivitäten. Es wurden bereits erste Erfahrungen mit dem Abriss von Gebäuden oder Teilen einzelner jüngerer Gebäude gemacht, und es ist offensichtlich, dass die Abfallentsorgung in diesen Fällen schwieriger ist. Es wird daher anerkannt, dass die Frage des Rückbaus dringend angegangen werden muss, da sich das Problem der Abfallvermischung in den kommenden Jahren durch den Abriss neuerer Gebäude mit komplexen und geschichteten Bauteilen noch verschärfen könnte.

Im Rahmen des DeCO-Projekts werden Richtlinien für den Rückbau und die Demontage von gedämmten, neueren Gebäuden entwickelt, um die künftige Bewirtschaftung von Bauabfällen festzulegen. Um das Projekt in den richtigen Kontext zu stellen, wird in diesem Dokument die aktuelle Situation im Tessin im Bereich der Abbruch- und Baumaterialverwertung/-beseitigung analysiert.

Zunächst wurden die wichtigsten Tessiner Unternehmen kontaktiert, die sich mit Recycling, Abbruch und Wiederverwertung im Bauwesen befassen. In jedem der teilnehmenden Unternehmen wurden Befragungen und Betriebsbesichtigungen durchgeführt. Aus den Gesprächen ging vor allem hervor, dass die Unternehmen die Bedeutung des vorgeschlagenen Projekts als mögliche Lösung für das Problem der Vermischung von Wärmedämmung und inerte Materialien nach dem Abbruch erkannt haben. Darüber hinaus wurde die derzeitige Situation bei der Abfalltrennung beschrieben: Metalle und Holz werden getrennt und es gibt Lieferketten für ihre Wiederverwertung. Dasselbe gilt für mineralische Abfälle, wenn sie ordnungsgemäss getrennt werden: Mineralwolle landet hingegen in der Regel auf der Deponie, währenddessen es für Polystyrol-Dämmstoffe in der Deutschschweiz einige Lieferketten für ihre Wiederverwertung gibt. Anschliessend wurden die derzeitigen kritischen Punkte hervorgehoben, die der Trennung und Verwertung von Baustellenabfällen im Weg stehen; diese sind hauptsächlich logistischer und wirtschaftlicher Natur, insbesondere im Zusammenhang mit den höheren Kosten, die diese Aktivitäten im Vergleich zur Deponierung oder zum Export ins Ausland verursachen würden. Anschliessend wurden die Unternehmen befragt, ob die DeCO-Richtlinien umsetzbar sind und wie sie angewendet werden könnten. Ein weiterer Aspekt ist, dass es grundsätzlich ein grosses Potenzial für die Wiederverwendung von Baumaterialien gibt, jedoch wird diese Tätigkeit derzeit nur von einigen wenigen Unternehmen in einem sehr begrenzten und sporadischen Umfang für bestimmte Bauteile durchgeführt.

Zweitens wurden lokale Vertreter der wichtigsten Hersteller/Importeure von Wärmedämmstoffen in der Schweiz kontaktiert, um zu klären, ob es Massnahmen gibt, um Materialien von Baustellen zurückzunehmen und anschliessend zu recyceln. Dies geschieht zwar, aber nur in begrenzten Mengen, da die Unternehmen nur einen Teil der Materialien zurücknehmen und nur, wenn es sich um ihre eigene Produktion handelt.

Schliesslich beschreibt die Studie eine Fallstudie über den Abbruch eines zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert errichteten Gebäudes im Zentrum von Lugano nach dem heutigen Stand der Technik.

Abschliessend wird aufgezeigt, dass der Rückbau zur Verwertung von Abbruchabfällen im Tessin unter verschiedenen Bedingungen möglich ist. Der Abbruchsektor kann davon profitieren, und die Ausarbeitung von Richtlinien zur Regulierung dieser Praxis ist ein nützliches Hilfsmittel für die Branche

8.1 Introduzione

Al fine di contestualizzare il presente studio riguardante le Linee Guida per la decostruzione si sono contattati:

- **le principali aziende** in Ticino attive nel settore della demolizione e del recupero/smaltimento dei materiali da costruzione;
- **i principali produttori/importatori** di isolamenti termici in Svizzera.

Presso ciascuna delle ditte attive sul territorio si è eseguita una intervista e un sopralluogo/visita presso gli impianti.

Inoltre si è eseguito un sopralluogo durante un importante intervento di demolizione eseguito nel centro di Lugano.

8.2 Aziende di demolizione, riciclaggio, bonifica

L'incontro con alcune ditte nel settore del riciclaggio, demolizione, bonifiche e costruzione ha permesso di prendere consapevolezza della situazione attuale nel Ticino.

Si sono contattate 14 aziende, delle quali 6 hanno risposto e dato la gradita disponibilità per l'intervista e la visita agli impianti:

- | | |
|-------------------------------|---|
| • RS Recupero Materiali | recupero materiali |
| • Vismara & Co | recupero materiali |
| • G Ecorecycling + Congefi SA | recupero materiali e demolizioni |
| • Ferrari Piero | recupero materiali (inerti) e demolizioni |
| • DEG.MO Sagl | bonifiche materiali pericolosi |
| • Riva costruzioni | recupero materiali (inerti) e demolizioni |

È interessante notare come il settore del recupero materiali e demolizioni si configuri come un **“ecosistema” di aziende**. Quindi chi effettua la demolizione può fare riferimento a diverse aziende per il conferimento di diversi materiali, mentre le aziende di recupero interagiscono tra loro con flussi di materiali a dipendenza della disponibilità in sede di particolari macchinari di trattamento specializzati o accesso a vie di smaltimento.

La principale distinzione che è possibile determinare è tra le aziende che si occupano di solo recupero di materiali e le aziende che effettuano sia recupero materiali che demolizioni. Tipicamente nell'ultima categoria l'attività di demolizione è effettuata, in aggiunta all'attività di ritiro dei materiali, al fine di recuperare in modo più efficiente e pulito possibile i materiali inerti per poi riciclarli nel proprio processo aziendale. La sola attività di demolizione, senza attività di recupero interno dei materiali, è spesso concepita come attività correlata alle attività delle imprese di costruzione e si concentra sul settore degli inerti e calcestruzzi riciclati.

Le interviste hanno seguito un fil rouge comune, toccando i seguenti argomenti:

- **parere sul tema del progetto** (Decostruzione degli edifici e separazione degli isolamenti termici)
- **situazione attuale/di filiera** in merito alla separazione delle diverse categorie di rifiuti
- **criticità attuali** in relazione ad una separazione ideale dei rifiuti e all'avvio di un modus operandi che preveda la decostruzione degli edifici.
- **fattibilità** di eseguire una decostruzione invece di una demolizione
- **proposte** per perseguire una decostruzione degli edifici, una separazione ideali dei rifiuti e diminuire l'apporto in discarica
- **parere su un possibile riuso** dei materiali da costruzione
- **varie ed eventuali**

Si presentano di seguito le tematiche emerse. Si rende attenti che non tutti gli interlocutori interpellati sostengono tutte le misure elencate nel presente capitolo, le misure sono da considerare come un elenco dei temi emersi.

8.2.1 Parere sul tema del progetto DeCO

In merito ad un **giudizio in relazione alle tematiche** affrontate nel progetto si sono raccolte le seguenti osservazioni:

- **tutti riconoscono l'importanza del progetto DeCO** sia per quanto riguarda il tema della decostruzione sia in merito al pericolo di miscele tra diverse categorie di rifiuti e al pericolo di dispersione degli isolamenti termici in ambiente.
- **il problema più grande che si prevede è la miscelazione di isolamenti termici plastici e i materiali inerti.** Oggi le demolizioni riguardano per la grande maggioranza edifici costruiti in modo tradizionale senza isolamenti termici, tuttavia ci sono già avvisaglie di situazioni nelle quali elementi plastici risultano miscelati ad inerti (p.e. tubi plastici e isolamenti termici nei betoncini di sottofondo, ecc...).

8.2.2 Situazione attuale in merito alla separazione dei rifiuti

In merito alle **filieri di recupero attualmente percorribili** e in generale il recupero del materiale da demolizione si sono raccolte le seguenti riflessioni:

- i **metalli** sono sempre, laddove possibile, separati dalle ditte di demolizione, essendo il loro recupero conveniente economicamente. I riciclatori raccolgono i metalli che vengono poi avviati ad impianti di riciclaggio;
- il **legno** è generalmente separato in cantiere poiché le filiere di recupero sono percorribili. Il legno da demolizione, a dipendenza dei trattamenti e dello stato di degrado, è tritato e poi compresso in pannelli o assi. Se invece il recupero non è possibile a causa della presenza importante di vernici, colle, resine, può essere bruciato al termovalorizzatore;
- le **benne per inerti** provenienti dalle demolizioni contengono anche laterizio e spesso anche materiale plastico (resti di tubazioni, guaine, ecc.). In particolare, le benne provenienti da risanamenti e piccole demolizioni contengono più rifiuti misti. Ciò succede perché, visti i volumi ridotti, in questi casi il sovra costo totale di smaltimento di inerti “sporchi” è minore.
- il **calcestruzzo pulito** può essere vagliato e tritato per produrre in seguito inerti per calcestruzzo riciclato;
- le **lane minerali isolanti** vengono solitamente portate in discarica;
- gli **isolanti plastici e materiali plastici** in genere sono considerati “ingombranti” e vengono portati al termovalorizzatore;
- esistono alcune **filieri per il recupero di polistiroli** in svizzera interna, ma sono limitate dallo stato di avanzato degrado dei rifiuti da cantiere (sono ripresi solo polistiroli puliti “a nuovo”) e dagli elevati costi di trasporto. Di fatto i polistiroli provenienti dalle demolizioni vengono conferiti per la termovalorizzazione.
- esistono alcune **incertezze in merito alle filiere di smaltimento** in merito a materiali compositi tipo **pannelli di cartongesso** che si stanno evolvendo verso elementi costruttivi nelle quali i materiali plastici sono sempre più presenti.
- i **laterizi**, quando sono puliti, vengono esportati in Italia. Ma generalmente sono misti con inerti generici e vengono portati in discarica come inerti

8.2.3 Criticità attuali

Di seguito le osservazioni in merito alle **criticità attuali** che ostacolano una separazione, recupero e riciclaggio ideali dei rifiuti da cantiere o potranno ostacolare la decostruzione:

- le **benne di inerte misto sono accettate dalle discariche** fino ad un certo grado di “sporco” (inteso come materiale plastico o laterizio), solitamente ad un costo maggiore;
- il **costo delle discariche risulta essere basso** (secondo i riciclatori, mentre non va aumentato secondo chi svolge anche l’attività di impresa edile). Il maggior costo di manodopera in cantiere (tempo) per separare in modo ottimale i rifiuti sarebbe maggiore rispetto al maggior costo di conferimento di rifiuti miscelati, p.e. inerti sporchi.

- **il basso costo di esportazione dei rifiuti e il basso costo di importazione di inerti di qualità dall'estero** ostacolerebbe il riciclo/recupero dei rifiuti e l'utilizzo di inerti riciclati.
- **l'uso del calcestruzzo riciclato non verrebbe abbastanza incentivato negli appalti pubblici**, essendo il punteggio assegnato a questa voce piuttosto basso o addirittura per alcune applicazioni non è previsto l'uso del materiale riciclato, benché lo stato della tecnica lo permetta.
- **gli appalti in m³ anziché in tonnellate costituiscono un problema** per la reale separazione degli inerti;
- secondo i riciclatori **il concetto multibenne sarebbe poco utilizzato**, per problemi logistici di spazio o di tempo/costi;
- una **demolizione "attenta"** per evitare una miscela di inerti con altri materiali che quindi rende possibile un reale riciclaggio del materiale sarebbe **effettuata solo da chi possiede un proprio impianto di riciclaggio di inerti**;
- si lamenta una **inesistenza di controlli in cantiere**, in quanto dal punto di vista legislativo non sarebbe chiaro se la separazione dei rifiuti deve avvenire in cantiere o presso i centri di recupero.
- **non ci sarebbe una vera e propria direzione lavori specializzata** che controlli come le demolizioni vengano effettuate.
- **il costo dei trasporti pesa sulle possibilità di conferimento**, sia dai cantieri verso i riciclatori, sia dai riciclatori verso centri di trattamenti specializzati. I trasporti sono effettuabili quasi esclusivamente su gomma; si segnala anche una difficoltà a collaborare con le ferrovie per l'invio di rifiuti in Svizzera interna;
- **l'attività di demolizione viene percepita dai committenti come un costo da minimizzare**, inoltre il settore è caratterizzato da una corsa al ribasso con una compressione dei tempi e costi di manodopera.

8.2.4 Fattibilità di attuare un processo di decostruzione per gli edifici recenti

In merito alla **fattibilità di implementare le linee guida della decostruzione** e di processi di decostruzione sono emerse le seguenti osservazioni:

- di principio è **possibile eseguire la decostruzione degli edifici secondo le linee guida della decostruzione**;
- per quanto riguarda la rimozione degli **isolamenti termici in facciata** e per evitare dispersioni in ambiente di materiali plastici, **si immagina un montaggio di ponteggio chiuso e uno smontaggio manuale**. Una decostruzione con benne selettive non potrebbe escludere le dispersioni in ambiente, soprattutto di polistiroli.
- dal punto di vista tecnico, le aziende auspicano che non vengano indicati nelle linee guida gli attrezzi e le tecnologie da utilizzare ma di indicare gli obiettivi e l'approccio, **lasciando quindi la possibilità di usare la strumentazione in possesso dell'impresa che poi verrà eventualmente completata o rinnovata a dipendenza della reale richiesta di mercato**.
- viene riconosciuto che di fatto **la decostruzione diventerà una necessità per evitare la miscelazione dei materiali**, tuttavia si segnala il fatto che il costo di demolizione aumenterà.

8.2.5 Proposte

Si sono interpellate le aziende in merito a **proposte pragmatiche che agevolerebbero l'applicazione di una cultura della decostruzione**, separazione dei materiali isolanti e diminuzione del conferimento alle discariche:

- creazione di un **meccanismo di obblighi e incentivi per l'esecuzione delle attività di decostruzione**;
- **aumento dei costi di conferimento** degli inerti misti e delle esportazioni;
- **aumento del costo di importazioni inerti**;
- **creazione di una base legale per un controllo della separazione dei rifiuti senza dispersione in ambiente in cantiere** (regolamentazione delle demolizioni);
- **certificare la qualità di materiali derivanti dal riciclo**, in modo da incentivare il riciclo o il riuso;
- **rendere possibile l'utilizzo di un maggior quantitativo di calcestruzzi riciclati**;
- **aumentare il peso dell'uso del riciclato negli appalti pubblici/privati**;
- **stipulare degli accordi di trasporto oltre Gottardo** per agevolare l'utilizzo delle filiere già esistenti in Svizzera;
- **approfondire le tecniche di costruzione pensate per la decostruzione per gli edifici a nuovo** (ricerca e formazione dei professionisti e dei giovani tecnici della costruzione), quindi sviluppare know how nella progettazione **"costruire per decostruire"**.

- **avviare attività di formazione specifica per i professionisti della costruzione** in modo che le costruzioni in futuro non presentino i problemi di separazione attuali.

8.2.6 Riuso dei materiali da costruzione

In merito al riuso dei materiali da costruzione:

- di principio ci sarebbe **un grande potenziale di riuso dei materiali da costruzione**;
- a volte **questa attività viene eseguita in modo informale** dai riciclatori o dalle imprese che ricevono materiali o elementi edili nuovi o non danneggiati. Questa attività viene eseguita in modo sporadico, non coordinato e frutto di contatti personali degli addetti ai lavori.

8.2.7 Osservazioni e temi vari

- **potrebbe in futuro rivelarsi un'estensione dell'elenco materiali potenzialmente pericolosi**, p.e. si ventila la possibilità che le lane minerali o i materiali con nanotecnologie potrebbero in futuro essere considerati come potenzialmente pericolosi;
- alcuni interventi vengono effettuati **senza controllo di materiali pericolosi**.

8.2.8 Conclusioni

La continua ricerca di standard elevati per l'abbassamento dell'energia d'esercizio ha portato purtroppo a soluzioni costruttive complesse per il riciclo e recupero dei rifiuti. La situazione attuale del settore demolizioni e riciclo non prevede una decostruzione come intesa nel presente progetto e di conseguenza non sempre è possibile un riciclo/recupero ottimale dei rifiuti da cantiere.

Ad oggi l'attività di demolizione si rivolge ancora ad edifici costruiti in modo semplice con soluzioni tecniche tradizionali e massicce, quindi la problematica di separazione è mitigata al fatto che i materiali sono ancora separabili in maniera relativamente semplice. **Tuttavia alcune prime esperienze di demolizione di edifici o parti di edifici isolati sono state fatte e si conferma la particolare difficoltà di gestione dei rifiuti in questi casi. Si riconosce quindi l'urgenza di affrontare il tema della decostruzione** visto che si prevede che nei prossimi anni il problema della miscelazione dei rifiuti possa aggravarsi visto che si inizierà a demolire edifici più recenti.

Il margine di manovra del settore della demolizione e recupero dei materiali da costruzione pare caratterizzato da condizioni quadro non ottimali, dai flussi di materiale con l'Italia, dalla compressione dei costi, dalla scarsa qualità del materiale conferito e dalla bassa richiesta di calcestruzzi costituiti da inerti riciclati. Le aziende che si occupano di riciclaggio degli inerti eseguono già oggi demolizioni con attenzione visto l'interesse a riutilizzare internamente il materiale ma quando le demolizioni sono eseguiti da imprese edili generiche o riguardano interventi di risanamento, la qualità del lavoro e del materiale conferito è più bassa.

In generale la redazione delle linee guida per la decostruzione è accolta positivamente perché contribuisce a dare un riferimento per il settore e, tecnicamente, è fattibile. Per la diffusione di questo modus operandi, al di là della necessità tecnica di separazione che emergerà nei prossimi anni, si auspica un meccanismo di obblighi (attività in cantiere) e incentivi.

Si rende attenti che le considerazioni qui riportate sono significative e degne di nota ma non è dimostrabile che rappresentino il parere di tutte le aziende del settore dal punto di vista statistico. Inoltre

non tutti gli interlocutori interpellati sostengono tutte le misure elencate nel presente capitolo, le misure sono da considerare come elenco dei temi emersi.

8.3 Ritiro materiali da produttori

Si sono contattati i rappresentanti locali di aziende produttrici di isolamenti termici o blocchi isolanti al fine di chiarire se esistono politiche di ritiro dei materiali dai cantieri e successive operazioni di riciclaggio.

- Flumroc

L'azienda attua una politica di riciclaggio di lane minerali di loro produzione (in caso di demolizioni viene verificato tramite analisi di laboratorio se il materiale è stato prodotto in origine dall'azienda).

Tramite sacchi o big bag (a pagamento) i rivenditori accettano le lane minerali prodotto da Flumroc e tali lane minerali vengono inviate allo stabilimento madre dove vengono fuse e reimmesse nel processo produttivo.

Il processo di fusione rende possibile eliminare eventuali impurità.

Attualmente, per motivi normativi, viene accettata una miscelazione di materiale recuperato in proporzione alla produzione a nuovo del 10%.

- Isover

L'azienda attua una politica di riciclaggio di lane minerali di loro produzione analogamente a Flumroc (in caso di demolizioni viene verificato tramite analisi di laboratorio se il materiale è stato prodotto in origine dall'azienda).

Avvisando l'azienda e dopo aver raccolto il materiale tramite sacchi, big bag o benne di materiale, le lane minerali vengono inviate allo stabilimento madre dove vengono fuse e reimmesse nel processo produttivo. Il servizio di ritiro è a pagamento.

- Swisspor

L'azienda ritira tramite l'Associazione svizzera riciclaggio del polistirolo EPS bianco o XPS grigio puliti.

L'esigenza di avere materiali puliti (a nuovo) limita la possibilità di conferimento alla ditta dei materiali frutto di demolizione. Di fatto possono essere ritirati solo scarti/ritagli di cantiere a nuovo e polistiroli da imballaggio puliti.

- Ytong

L'azienda fornisce blocchi portanti isolanti e pannelli isolanti in beton cellulare.

Le caratteristiche del prodotto fanno sì che di principio tale materiale sia riciclabile in quanto può essere macinato e reimpresso in produzione.

Già oggi in caso di costruzioni a nuovo, i blocchi rotti in cantiere possono essere macinati e riusati sul posto per il confezionamento di malte.

In Germania (paese di sede dell'azienda) si sono già verificati casi di riciclo di blocchi provenienti da interi edifici, mentre in Svizzera finora tali casi non si sono ancora verificati ma si sono ritirati blocchi da cantiere a nuovo frutto dei tagli.

Per problemi di esportazione in Germania del materiale (dogane), ad oggi in Svizzera i blocchi Ytong recuperati non vengono inviati all'azienda madre ma vige un accordo con Holcim che, dopo macinazione, ricicla i blocchi per la produzione di materiali cementizi.

Unica criticità che potrebbe compromettere il riciclo di tali blocchi (di principio sempre possibile) è la situazione nella quale vengono stesi sui blocchi intonaci di varia natura, non di produzione della casa madre, che vanno a compromettere la purezza del materiale recuperato.

Concludendo, i materiali isolanti di origine minerale possono, di principio, venire riciclati tramite fusione e re immissione nel ciclo produttivo. Grazie al processo di fusione è possibile l'accettazione anche di lane minerali relativamente sporche o con impurità. I materiali isolanti e di origine minerale tipo beton cellulare possono venire riciclati dopo macinazione e produzione o dello stesso materiale o di altro materiale cementizio. Invece per quanto riguarda i materiali isolanti plastici il riciclaggio è ad oggi limitato ad alcune categorie di materiali puliti a nuovo e che non presentino impurità o stratificazioni (p.e. pannelli con fogli di alluminio, ecc...).

Di fatto i volumi di materiali isolanti sembrano limitati dal fatto che le aziende ritirano solo materiali di loro produzione e dal fatto che il ritiro avviene a pagamento. Dal contatto con i rappresentanti locali delle ditte emerge che non sono state ancora fatte esperienze di ritiro massivo e sistematico di materiali da cantieri di demolizione o risanamenti. Ad oggi il ritiro è ancora un evento puntuale e non è un fenomeno massivo e sistematico. Ci si attende però un notevole aumento di tale attività dovuta al fatto che le maggiori vendite di tali materiali sono state effettuate in epoca recente per edifici che non sono ancora al termine della vita utile e che quindi non sono ancora stati demoliti o ristrutturati.

8.4 Caso studio di demolizione

Nel contesto del presente progetto, si è avuta l'opportunità, grazie alla disponibilità della ditta G Ecorecycling SA di assistere alla demolizione di un edificio a Lugano.

Si può considerare tale demolizione come rappresentativa dello stato di fatto attuale di tale attività sia come tipologia di edifici toccati che come approccio al recupero/riciclaggio dei materiali e relative tecniche di recupero.

Si può considerare tale caso come esempio positivo, si sono effettuati **anche smontaggi a mano per la separazione degli isolamenti termici in polistirolo prima della demolizione distruttiva.**



Figura 33 Demolizione dello Stabile Ex Vanoni: facciata fronte strada e situazione verso l'area interna del mappale

8.4.1 Approccio di demolizioni

Dal sopralluogo effettuato e viste le soluzioni costruttive dell'edificio, è possibile ipotizzare indicativamente l'epoca di costruzione dell'edificio a fine '800 – inizio '900. Si sono notati segni di risanamenti e modifiche intercorse nel tempo.

Da quanto è stato possibile constatare durante il sopralluogo si ritiene l'edificio fosse costituito dalle seguenti soluzioni costruttive e materiali:

- Muratura in parte mista pietrame e parte in solo laterizio
- Tetto a falde in legno
- Solette prevalentemente in legno con sottofondi cementizi
- Alcune solette/travature metalliche
- Ante delle finestre non presenti ma si ipotizzano telai in legno
- Porte in legno
- Riscaldamento a radiatori
- Edificio non isolato termicamente
- Presenti alcune parti puntuali dell'edificio in calcestruzzo armato (alcune solette)
- Pavimenti e sanitari in ceramiche
- Isolamento dell'edificio dall'interno in polistirolo (rimosso prima dell'inizio della demolizione con pinza idraulica)

L'edificio conteneva **amianto**, motivo per cui prima dell'inizio dell'attività di demolizione è stato bonificato ed i materiali pericolosi asportati preventivamente.

Dopo la bonifica e **prima dell'inizio della demolizione tramite pinza idraulica sono stati rimossi a mano le pannellature di isolamento termico in polistirolo posato dal lato interno delle pareti esterne per evitarne la dispersione in ambiente e la miscelazione con inerti.**

L'approccio alla demolizione è stato mirato alla separazione dei materiali per categoria e alla separazione prioritaria per i materiali valorizzabili nella filiera del riciclaggio, nel caso specifico i materiali valorizzabili erano legno e metallo.

Nella fase principale, la demolizione è eseguita con un escavatore pesante a braccio lungo dotato di pinza demolitrice. Grazie a tale strumento e all'abilità del macchinista, attraverso la pinza demolitrice non solo l'edificio viene "portato a terra" per il trasporto successivo dei materiali ma viene eseguita direttamente una separazione dei materiali con una discreta precisione. Tali materiali quindi vengono accumulati a terra o in benne per categorie. Alla fine della demolizione con pinza demolitrice, una volta che i materiali sono portati a terra suddivisi per cumuli/categorie/benne siamo stati informati che si sarebbero utilizzati ulteriori macchinari non solo per il trasporto e l'allontanamento dei materiali ma anche per un affinamento successivo della separazione (p.e. macinazione delle parti in calcestruzzo armato al fine di recuperare i metalli). In tutti i casi i materiali riciclabili possono essere ancora analizzati/separati nel centro di raccolta dell'azienda.

Fasi principali della demolizione:

1. **Bonifica** dell'edificio da sostanze pericolose
2. **Rimozione a mano (smontaggio) dei pannelli di isolamento termico in polistirolo rivestiti in cartongesso** (isolamento dall'interno delle pareti esterne)
3. **Demolizione** dell'edificio con pinza demolitrice e suddivisione principale dei materiali
4. **Ulteriore affinamento della separazione per i materiali da valorizzare** (riciclaggio) in situ o presso l'azienda (p.e. macinazione degli elementi in calcestruzzo per recupero degli elementi metallici, ecc..)
5. **Avvio in discarica o esportazione dei materiali non riciclabili** (p.e. si ipotizza l'inerte misto contenente pietrame, calce e laterizio) e **avvio alla filiera del riciclo dei materiali** dove ciò è fattibile/economicamente interessante.

Categorie di materiali raccolte separatamente:

- Legno (prioritario per questo edificio)
- Metalli (profilati, radiatori e tubi)
- Calcestruzzo armato per successiva macinazione e recupero acciai, travi in acciaio
- Inerti misti (pietrame, laterizio, tegole, cementizi vari)
- Combustibili/diversi

Al momento del sopralluogo non si sono notati **isolamenti termici in quanto precedentemente rimossi**.



Figura 34 Demolizione ex Vanoni: A sinistra raccolta dei metalli, a destra raccolta dei materiali lignei



Figura 35 Demolizione Ex Vanoni: a sinistra raccolta di elementi di cemento armato per successiva macinazione e separazione del materiale ferroso, a destra raccolta di un radiatore

8.4.2 Potenziale di riuso

Dal sopralluogo effettuato si sono notati **alcuni materiali o elementi della costruzione potenzialmente adatti per un riuso** (previa pulizia, ricondizionamento, piccoli adattamenti e valutazione di fattibilità economica) in altri edifici in un'ottica di economia circolare.

Elementi/materiali con un potenziale di riuso teorico:

- Tegole del tetto
- Capriate/travature del tetto
- Travi in legno delle solette
- Ceramiche dei bagni
- Porte
- Inferriate delle finestre al piano terra
- Pavimenti
- Radiatori
- Rubinetterie
- Specchi
- Elementi lapidei d'avanzali, soglie
- Persiane

In un'ottica di economia circolare si potrebbe quindi **prevedere una nuova fase di lavoro dopo le operazioni di bonifica e prima della demolizione vera propria degli edifici nella quale, mediante sopralluogo, si determinano e si recuperano gli elementi con un potenziale di riuso.**



Figura 36 Demolizione Ex Vanoni: Stato di alcuni ambienti interni e delle facciate al momento della demolizione distruttiva.

8.4.3 Conclusioni

Si è potuto assistere alla demolizione attenta di un edificio secondo lo stato dell'arte attuale. Benché l'edificio fosse caratterizzato da soluzioni tecniche tradizionali e semplici, vi era la presenza di isolamenti termici in polistirolo frutto di risanamenti effettuati nel tempo. **I potenziali problemi di miscelazione e dispersione in ambiente dei polistiroli sono stati evitati effettuando uno smontaggio/decostruzione di tali pannelli a mano prima di effettuare la demolizione con pinza idraulica.**

Il caso studio conferma che una demolizione convenzionale, se attenta e selettiva su edifici caratterizzati da soluzioni costruttive semplici, può garantire un buon grado di velocità di esecuzione e di separazione delle varie categorie di materiali. **Quando però sono presenti isolamenti termici plastici risulta necessario uno smontaggio a mano, in questo caso reso fattibile dal fatto che si è potuto intervenire dall'interno.** La difficoltà e i costi di smontaggio sarebbero stati ben maggiori in caso di isolamento a cappotto.

Le demolizioni attuali sono sostanzialmente di tipo distruttivo, i materiali risultanti sono al massimo riciclabili (quindi con l'esigenza di lavorazioni successive sul posto o di filiera) ma non riusabili.

In generale, per quanto riguarda la demolizione di tipologie edilizie tradizionali caratterizzati da semplici soluzioni costruttive, una possibilità di miglioramento in ottica di economia circolare, **può essere il tema del riuso degli elementi costruttivi da implementare (tramite sopralluogo ed estrazione degli elementi costruttivi) prima della fase di demolizione vera e propria e dopo la bonifica di ev. materiali pericolosi.**

Per quanto riguarda la demolizione di edifici recenti oggetto del presente progetto, si ritiene che la tecnica di demolizione attuale utilizzata generalmente per gli interventi di demolizione (demolizione tramite pinza idraulica), non possa garantire le esigenze di non miscelazione dei materiali dato che tale tipologia di edificio è caratterizzata da importanti spessori di isolamenti termici e acustici presenti in praticamente tutti gli elementi della costruzione (si veda il capitolo 6.1). Di fatto si conferma la necessità in prospettiva di integrare alla demolizione convenzionale, operazioni di decostruzione/smontaggio degli elementi costruttivi.

8.5 Tecniche e strumenti per la decostruzione

8.5.1 Tecniche per la demolizione convenzionale e controllata

Le operazioni di demolizione che non prevedono il recupero di materie prime sono svolte con tecniche fortemente distruttive, in modo da eliminare un manufatto nel più breve tempo possibile e, talvolta, con scarsa attenzione agli impatti sul territorio circostante, derivanti dall'applicazione di tecniche di demolizione più tradizionali quali: l'esplosivistica civile, la palla demolitrice, il martello demolitore, l'abbattimento per spinta o trazione tramite benna, ecc.

Escavatori e martelli demolitori idraulici producono macerie di grosse dimensioni, come pure le tecniche e i procedimenti basati sul taglio con utensili diamantati.

La selezione della specifica tecnica di demolizione (o meglio, la scelta della combinazione di più tecniche) è normalmente basata su criteri di natura economica, con i vincoli derivanti dalla necessità di operare nel rispetto delle condizioni di sicurezza e legislative.

Il ricorso a diverse tecniche di demolizione necessita un'attenta valutazione degli spazi liberi a disposizione per l'attività di demolizione e/o per il deposito dei residui da C&D, da reimpiegare/riutilizzare o riciclare come sottoprodotti, ovvero da avviare a recupero/smaltimento presso impianti interni o esterni al sito.

La **demolizione convenzionale** di edifici produce grandi quantità di detriti che spesso si traducono in una porzione significativa del flusso totale di rifiuti. Sebbene non sia l'opzione migliore per quanto riguarda la riciclabilità dei rifiuti, la demolizione tradizionale può ancora essere l'opzione preferibile nei casi di manufatti che rischiano di collassare (ad esempio dopo incendi o terremoti).

I metodi di demolizione delle strutture portanti (cemento armato, muratura e pietrame) alternativi a quelli tradizionali a percussione, vengono spesso definiti controllati in quanto graduabili con notevole precisione.

In linea generale, la **demolizione controllata** è caratterizzata da: (1) azione di percussione assente o molto circoscritta; (2) assenza di vibrazioni e rumore ridotto; (3) riduzione dell'emissione di polveri; (4) impegno significativo da parte degli operatori.

Tecniche e mezzi di demolizione controllata assicurano operazioni precise e dirette sugli elementi da smantellare (in particolare per quanto concerne elementi strutturali).



Figura 37 Livelli crescenti di separazione consentono livelli crescenti di riciclo/riuso dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW).

Il vasto panorama delle tecniche e dei metodi di demolizione viene schematizzato nella Tabella 10.

Ciascuna tecnica di demolizione è idonea a ottenere esiti differenti sul manufatto: la demolizione totale (per es.: effettuata con le ruspe, l'esplosivo, escavatori o dei mezzi dotati di cesoie pneumatiche o martelli demolitori); la demolizione controllata (per es.: con sega da parete che separa i materiali di risulta per poterli poi riutilizzare); la demolizione selettiva che "smantella" con sequenze definite, e in modo sicuro, i singoli elementi (per es.: con mezzi meccanici manuali quali pinze idrauliche, martello scalpellatore).

Le opzioni tecniche disponibili possono essere classificate:

- (1) in base alle tipologie di rifiuti che si possono ottenere (misti, separati/separabili);
- (2) il tipo di operazione che comportano (abbattimento totale, frantumazione, abrasione, asportazione, separazione, taglio, selezione).

In sostanza è possibile classificare le diverse tecniche in base a quanto permettono di separare e differenziare i rifiuti.

Nella Tabella 11 è proposto un riassunto e una breve descrizione delle principali caratteristiche delle tecniche e dei mezzi più comuni. Si è cercato di proporre una prima valutazione del tipo di rifiuto che viene generato: misto, separato o separabile. Questa ipotesi di classificazione potrebbe essere la base per un ulteriore sviluppo e approfondimento della presente ricerca con lo scopo di raggruppare i rifiuti in base a come si ottengono e al potenziale di riciclo/riuso che potrebbero avere.

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

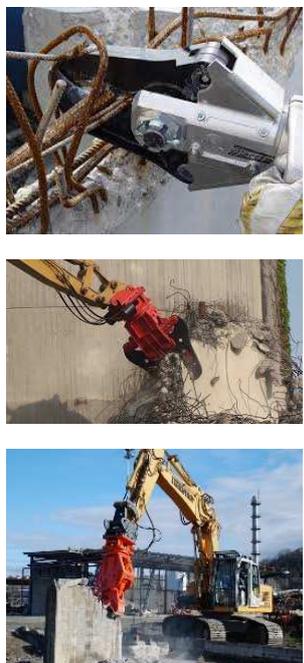
<i>Tabella 10 Metodi di demolizione tradizionale e controllata</i>					
Metodo	Utensili/ attrezzature	Campo d'impiego	Procedura	Criteri	Ulteriori considerazioni
Manuale	Strumenti portatili: piedi di porco, martelli pneumatici, trapani, seghe elettriche etc.	Principalmente per aree elevate e inaccessibili o per il recupero architettonico	Topdown	I componenti ed i residui sono facilmente separati per scopi di recupero/riutilizzo; basso danno agli edifici adiacenti; alto rischio di incidenti (lavoro in quota)	Alta intensità di manodopera Tempi e costi d'esecuzione rilevanti
Trazione	Veicolo dotato di fune per fornire la potenza di tiro	Spesso strutture in mattoni o in muratura, tutte le strutture (rovesciamento)	Rimozione preventiva di componenti stabilizzanti (es. tubazioni, travi e architravi). Separazione dagli edifici adiacenti. Tramite fune approntata intono alla sezione di mattoni, si procede a trazione per ottenere il crollo	Produce emissioni di polveri Si ottengono materiali di grosse dimensioni.	Struttura resa instabile prima della demolizione (rischio crollo). Possibili crolli incontrollati, rischio di dilatazione tempi.
Impatto	Palla demolitrice (peso tra 0.5 e 2 t), sospesa su gru cingolata.	Ampio per abbattere setti.	Topdown. Edifici adiacenti da scolleghere.	Rumori, vibrazioni, polveri. Si ottengono materiali di grosse dimensioni.	Molto economico. Poco usato oggi perché processo difficile da controllare.
	Braccio da demolizione montato su veicolo cingolato	Per abbattere murature	Il braccio, posizionato all'apice del muro, esegue una spinta in avanti		Limiti legati all'altezza del muro da demolire.
Martelli demolitori	Idrraulici o pneumatici (a mano o montati su veicoli)	Versatile, adatto a diversi materiali. Adatto a demolizioni parziali	Impatti ripetuti sulle parti da demolire.	Si ottengono materiali di piccole dimensioni. Rumore, polveri.	
Espansione/spaccatura	Cuneo	Calcestruzzo e muratura	Cunei meccanici sono inseriti a forza in fori predisposti l'espansione avviene mediante pressione idraulica.	Rumore e polvere vengono generati sostanzialmente solo nelle fasi perforazione.	Tecnica lenta, ottima per lavorazioni in prossimità di altri edifici.
Statico	Agente espansivo chimico	Cemento armato o precompresso. Non può essere utilizzato per elementi strutturali troppo vicini.	L'iniezione di malte di espansione in fori già predisposti e l'idratazione della miscela con acqua provoca l'espansione.		
Dinamico	Esplosivi, acqua ad alta pressione, pressione di gas		Applicazione in fori già predisposti.		
	CADOX		Anidride carbonica liquida nel tubo metallico inserito nel foro predisposto, riscaldamento del filamento elettrico che provoca l'espansione.		
Abrasione	Trapano a percussione, a mano o montato su veicolo	Generale	Riduzione delle strutture in polvere usando punte rotanti e martellanti.	---	---
	Alesatrice diamantata	Fresatura del calcestruzzo.	Sono creati fori molto lisci.	E' necessaria acqua per il raffreddamento.	Molto lenta è costosa.
	Disco diamantato	Taglio del cemento armato.	---	---	---
	Sega a filo diamantato	Taglia sezioni di cemento.	---	Genera polveri e vibrazioni.	---
	Getto ad acqua ad alta pressione	Può essere usato per tagliare malta	Il getto d'acqua a 250- 300 MPa, attraversando un	Uso di grandi quantità di acqua.	Costoso.

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

		cementizia e per separare elementi.	piccolo ugello può tagliare il calcestruzzo.		
Riscaldamento	Lancia termica (tubo metallico lungo circa 3 m contenente aste in lega di alluminio o lega di ferro).		Punta di lancia riscaldata a 1000 °C, l'ossigeno alimentato alla punta produce una fiamma di 2500 °C, può fondere ferri d'armatura e cemento.	Il taglio di alcuni materiali può causare fumi tossici.	---
	Fiamma di olio combustibile		Combustione di miscela kerosene e ossigeno produce fiamma per fondere il cemento.		---
	Argon-idrogeno / plasma di argon-azoto e raggio laser di anidride carbonica				
	Riscaldamento e peeling con conduttori elettrici		Praticare i fori per rivelare le barre di rinforzo, collegare i conduttori elettrici e ridurre la corrente attraverso le barre di rinforzo. Si provoca il riscaldamento del cls in modo che si spelli.	Produce rumore e polvere durante la fase di perforazione.	In alternativa, per asciugare il cls, si potrebbe usare microonde evitando la perforazione, ma è molto costoso.
Criogenico	---	Cemento armato, strutture in acciaio.	Congelamento rapido dell'acciaio in un'area ristretta per renderlo fragile.	---	Tempi lunghi e costi elevati.
Curvatura	"Jack-up"	Elementi orizzontali in cemento armato.	Viene applicata una forza puntiforme verso l'alto contro la lastra del pavimento per indurre forze di piegatura e taglio on lastre.	---	Uso raro.
Separazione	Benne setaccio per escavatori	Separazione dei flussi di rifiuti durante la decostruzione.	Benna dell'escavatore con setaccio rotante per la separazione delle frazioni fini da materiale più grossolano, all'interno del cantiere.	---	Separazione dei materiali in cantiere.
	Benne frantoio	Frantumazione di piastrelle o pezzi di cemento.	Una benna escavatrice con un frantoio a forma di mascella, il materiale frantumato cade attraverso una grata che funge da setaccio.	---	Frantumazione di materiali in dimensioni definite nel sito di decostruzione.

(Fonte: Joint Research Center, *Best environmental practice for the building and construction sector*, Final draft, September 2012, traduzione delle tabelle 7.10, pp.535-536, 7.12, pp. 536-538).

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

<i>Tabella 11 Tecniche / Mezzi di demolizione</i>					
Tecnica	Mezzi	Caratteristiche e descrizione	Operazione Materiali	Rifiuti	
				Misti	Separati/bili (*)
AD URTO	Sfera di acciaio piena e mezzo a gru.	Intero edificio. Velocità di esecuzione. Impossibilità di separare i materiali. Poca manodopera.	ABBATTERE Vari materiali	si	no
MECCANICA A PRESSIONE E PERCUSSIONE	Martello demolitore idraulico ed escavatori dotati di braccio.	Demolizione mirata. Operazioni precise. Notevoli vibrazioni. Buona produttività e rendimento.	SEPARARE Minerali	si	si
	Pinze e cesoie idrauliche con escavatrici. 	Effetto di taglio perché dotate di lama. Idonea anche per tranciare elementi metallici.	FRANTUMARE Vari materiali TAGLIARE metallo SEPARAZIONE metallo e minerali	si	si

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

	<p>Pinze idrauliche manuali (anche con servo sostegno).</p>   	<p>Demolizioni interne mirate. Microdemolizione. Tecnica non invasiva. Limiti nell'ampiezza di apertura. Non produce vibrazioni (come nel caso del martello demolitore).</p>	<p>FRANTUMARE Vari materiali TAGLIARE metallo</p>		<p>si</p>
	<p>Demolitore selezionatore ed escavatrici.</p>  	<p>Grossolana selezione dei materiali.</p>	<p>FRANTUMARE SELEZIONARE Vari materiali</p>	<p>-</p>	<p>si</p>
	<p>Cesoie rotanti.</p> 	<p>Elevate capacità di taglio (ma zona per il taglio < rispetto alle cesoie). Idonea al taglio di profili metallici.</p>	<p>FRANTUMARE Metallo</p>	<p>-</p>	<p>si</p>
	<p>Benne multiprocessori (intercambiabilità di più utensili)</p>	<p>Effetti di presa, schiacciamento, taglio, distacco, frantumazione.</p>	<p>FRANTUMARE Misti</p>	<p>si</p>	<p>si</p>

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

			Minerali		
	Benne prensili meccaniche	Usate per staccare, spostare, afferrare elementi anche di grande dimensione.	SEPARARE Vari materiali	-	Si
	Benne frantumatrici e vagliatrici 	Frantumazione e vagliatura (non sono considerati strumenti demolitori).	SELEZIONARE Misti	si	Si
	Benne vagliatrici	Usate come escavatori e vagliatori (non sono considerati strumenti demolitori). Vagliatura del materiale già demolito e separazione del materiale "leggero" da quello "pesante" (es.: terroso da lapideo).	SELEZIONARE Vari materiali	-	Si
DEMOLIZIONE CONTROLLATA	Seghe con filo diamantato 	Realizzazione di scanalature, fori, aperture, asole, tagli anche di grandi strutture e spessori. Assenza di vibrazioni nell'uso. Consente un'azione localizzata dall'esito preciso.	SEPARARE Vari materiali	-	Si
	Seghe da parete o da pavimento con dischi diamantati 	Apertura vani, taglio e separazione di elementi strutturali (per es.: scale). Assenza di vibrazioni nell'uso. Consente un'azione localizzata.	TAGLIARE SEPARARE Vari materiali	-	si
	Seghe a catena	Taglio di strutture in opera o di elementi fuori opera. Usati anche per rettificare e dividere.	TAGLIARE Vari materiali	-	si

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

	<p>Troncatrice manuale a disco</p> 	<p>Taglio, scasso per spessori limitati. Operazioni immediate, per piccoli tratti. Affaticamento dell'operatore (salvo uso di apposite guide per fissaggio a parete).</p>	<p>INCIDERE SEPARARE Vari materiali</p>	-	si
	<p>Idrodemolizione</p>	<p>Abrasion e taglio tramite acqua ad alta pressione (155 bar): tagli, rimozione intonaci, scarifiche. Acqua a bassa pressione: pulitura e lavaggio.</p>	<p>SCARIFICARE Vari materiali</p>	-	si
	<p>Benna prensile Fresa da braccio</p> 	<p>Fresatura, pelatura, scarifica.</p>	<p>SCARIFICARE ASPORTARE Vari materiali</p>	si	si
	<p>Dischi diamantati</p>	<p>Tagli, scanalature. Assenza di vibrazioni nell'uso. Consente un'azione localizzata.</p>	<p>TAGLIARE e SEPARARE parti di strutture Vari materiali</p>	si	Si
	<p>Corone diamantate (foretti)</p>	<p>Effetto fresante (non di taglio) per l'esecuzione di fori. Hanno un ingombro ridotto.</p>	<p>PERFORAZIONE Vari materiali</p>	-	Si
ESPLOSIVI o PRESSIONE INDOTTA	<p>Esplosione</p>	<p>Uso di cariche esplosive. Impossibilità di separare i materiali per frazioni omogenee. Necessaria, se si desidera recuperare materiali, un preventivo smontaggio degli stessi.</p>	<p>ABBATTERE</p>	si	no
	<p>Implosione</p>	<p>Caduta verso il centro dell'edificio tramite realizzazione di "cernierizzazioni" e sequenze di esplosioni temporizzate.</p>	<p>ABBATTERE</p>	si	no
	<p>Ribaltamento</p>	<p>Carica esplosiva posta sul lato verso il quale si vuole far coricare la struttura.</p>	<p>ABBATTERE SPACCARE</p>	si	no
	<p>Martinetti idraulici e spacca roccia meccanici</p>	<p>Generano forti pressioni in punti prestabiliti creando la rottura dell'elemento da demolire.</p>	<p>SPACCARE Vari Materiali, in particolare lapidei (molto usati nelle cave)</p>	-	si
	<p>Malte espansive (spacca roccia chimici)</p>	<p>Generazione di pressioni per l'aumento espansivo delle malte al fine di creare spaccature e rotture nell'elemento da demolire.</p>	<p>SPACCARE FRANTUMARE Vari Materiali, in particolare lapidei</p>	-	si

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

			(molto usati nelle cave)		
--	--	--	-----------------------------	--	--

(*) separati/separabili. Sono da intendersi rifiuti separati ottenuti da operazioni di demolizione che permettono di ricavare materiali già distinti e omogeni; mentre sono rifiuti separabili quelli che necessitano di una seconda lavorazione per dividere le frazioni (in cantiere o in appositi centri).

8.5.2 Tecniche per la decostruzione

Gli edifici non sono progettati per un successivo smontaggio degli elementi costruttivi, pertanto a dipendenza degli elementi costruttivi che compongono il manufatto è necessario valutare le possibilità effettive di smontaggio che consentano di separare i vari componenti senza danneggiarli o contaminarli.

Per legge è necessaria la separazione dei materiali per categoria, ovvero si procede con la demolizione selettiva, che dovrebbe essere finalizzata a separare i residui in almeno quattro tipologie, generati in successione:

- 1) **Materiali e componenti che contengono sostanze pericolose.** Questa operazione è preliminare a qualsiasi altra ed ha lo scopo di evitare inquinamento ambientale e proteggere gli operatori del cantiere dal rischio di manipolare in modo improprio sostanze nocive (sono richiesti: ditte specializzate, operatori esperti ed addestrati).
- 2) **Componenti riutilizzabili.** Se si desidera recuperare materiali per riutilizzarli con funzione identica all'originale (per es.: coppi, piastrelle, parapetti, travi, serramenti, ecc.) le operazioni di smontaggio devono essere effettuate con cura. Ovviamente la rimozione dovrà essere eseguita previa bonifica da eventuali sostanze pericolose.
- 3) **Materiali riciclabili.** Sono i materiali ottenuti da operazioni di demolizione di parti dell'edificio che, se sottoposti ad adeguati trattamenti, consentono di produrre materie prime secondarie (per es.: frammenti di macerie di laterizio, cls o misti, a seguito di trattamenti di frantumazione, vagliatura, ecc. posso costituire materiali idonei alla realizzazione di altri manufatti. Anche i residui del legno, per esempio, una volta triturati, essiccati e incollati in impianti industriali dedicati possono trasformarsi in altri prodotti).
- 4) **Rifiuti da avviare all'inceneritore oppure a smaltimento in discarica**, in quanto il loro riuso, riciclo non è tecnicamente o economicamente possibile.

In quest'ottica il processo di demolizione non può essere considerato fine a sé stesso, come nella demolizione indifferenziata, ma deve essere gestito come un'attività produttiva di semilavorati destinati a trattamenti successivi (per es.: riuso e riciclaggio).

La decostruzione, è una demolizione selettiva "spinta" che presuppone un'organizzazione di cantiere innovativa perché le operazioni da eseguire sono essenzialmente di smontaggio e stoccaggio per l'ottenimento di frazioni omogenee. Queste operazioni sono fortemente legate al tipo di elemento da demolire, pertanto devono essere selezionate in base alle sue caratteristiche.

I vantaggi della decostruzione sono di natura:

- 1) **ambientale**, con particolare riferimento al riutilizzo/riciclo dei residui, alla riduzione dei rifiuti conferiti in discarica.
- 2) **economica**, qualora i prodotti da riciclare siano di qualità in termini di omogeneità e mancanza di impurità, e riescano a rientrare nella filiera delle costruzioni.

Tecniche di decostruzione sono già ampiamente diffuse per quanto concerne per esempio la rimozione dei materiali pericolosi. Infatti, per poter bonificare i manufatti da sostanze pericolose molte ditte specializzate utilizzano la demolizione **strip out** o **soft strip out**. Lo strip-out è tipicamente una rimozione dei diversi materiali che caratterizzano l'edificio, utilizzata per preparare il manufatto alla demolizione completa o alla ristrutturazione. Lo strip out permette una corretta selezione dei materiali da recuperare, isola e tratta opportunamente i materiali pericolosi, e offre ai materiali che hanno un potenziale una seconda vita. Si procede, quindi, con una demolizione molto controllata che isola i vari materiali, lasciando a "nudo" gli elementi della struttura portante. È un processo che favorisce il riuso/riciclaggio dei materiali in quanto permette di rimuovere e smistare i diversi materiali.

È necessario che le operazioni di strip out siano svolte con precisione affinché sia possibile prevenire una serie di situazioni negative che possono arrecare dei danni a coloro che stanno svolgendo le diverse operazioni, ed evitare la contaminazione secondaria dei materiali ovvero che componenti inquinati non si mescolino con altri. Si tratta di un processo di "**scheletrizzazione**" e smontaggio selettivo finalizzato a rimuovere tutti gli elementi

non strutturali. Si interviene con la massima cura e attenzione per separare i rifiuti per frazioni e avviarli a specifici centri di trattamento e recupero; mentre la parte non recuperabile viene conferita alle discariche o inceneritori.

Il “**soft strip out**” non riguarda un intervento radicale di svuotamento e pulizia e bonifica, ma si tratta di interventi selettivi per singole tipologie o per specifici ambienti o impianti. Consiste nella rimozione di tutti gli elementi non strutturali, o “estranei”, di un edificio, quali impianti, serramenti, tamponamenti esterni, muri divisorii interni, controsoffittature, ecc. Con questa tecnica è possibile differenziare tutti i rifiuti non pericolosi direttamente in cantiere, e procedere con idonee misure nel caso in cui ci si trovi in presenza di rifiuti pericolosi. Le attività di strip out vengono solitamente eseguite manualmente, ovvero con operazioni in cui l’operatore ha un ruolo significativo e un addestramento specifico; o utilizzando macchinari “leggeri” per lo smantellamento controllato.

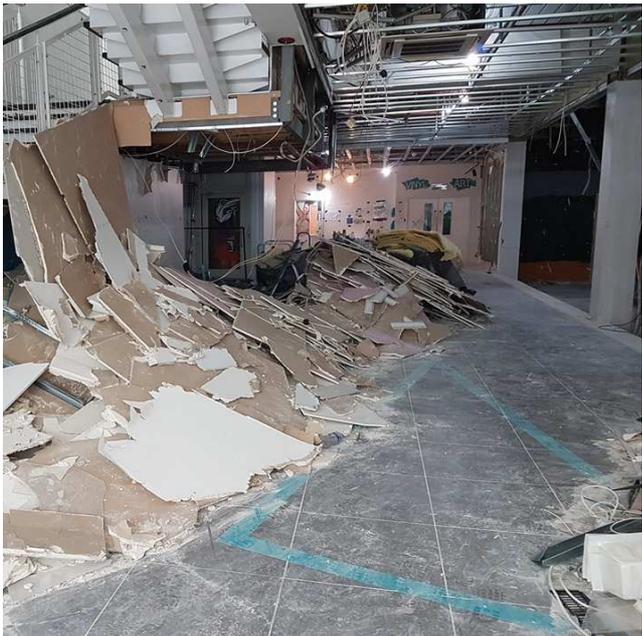


Figura 38 Strip out: rimozione pannelli di cartongesso (partizioni interne verticali e orizzontali).



Figura 39 Strip out: rimozione di intonaco contenente sostanze pericolose.



Figura 40 Strip out: rimozione lastre controsoffitto contenente amianto.

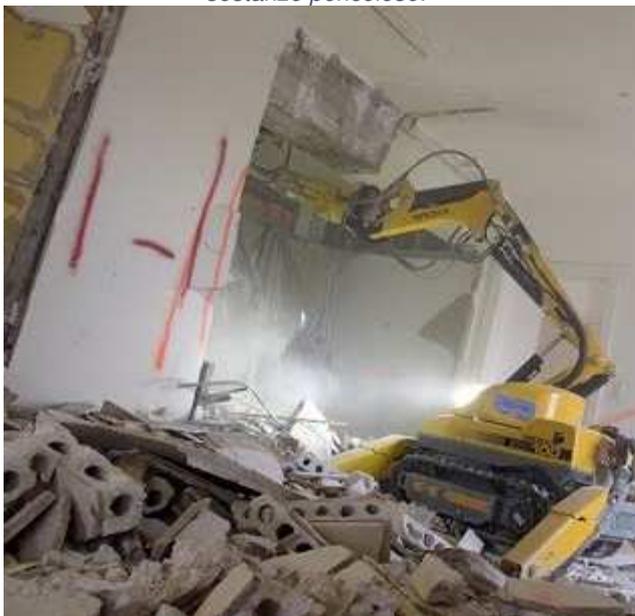


Figura 41 Strip out: demolizione interna con mezzo leggero radiocomandato.

Le foto sono tratte da siti internet di ditte specializzate.

8.5.3 Tecniche e mezzi per la decostruzione di sistemi a cappotto

Sulla base dell'esplorazione sulle tecniche di demolizione in uso e delle casistiche analizzate specifiche per la decostruzione di sistemi di rivestimento a cappotto esterni, nella tabella 3 sono riassunte le possibili tecniche e i relativi mezzi necessari a questa operazione.

<i>Tabella 3: Tecniche / Mezzi per la decostruzione di pareti con sistemi a cappotto esterni</i>			
Tecnica	Operazione	Attrezzatura	(foto)
Manuale con ausilio di mezzi meccanici	Raschiatura	Utensili da taglio	
	Fresatura / Incisioni	Fresatrice Dischi diamantati	
	Rimozione / Scalpellatura / Frantumazione	Martello scalpellatore Martello pneumatico ad aria	
	Rimozione / Scarifica / Frantumazione	Demolitore ad aghi	
Meccanici	Scarifica / Asportazione dello strato superficiale di intonaco o dell'intero pacchetto.	Benna prensile Fresa da braccio	 
	Peeling termico	In fase di studio	Per il taglio del polistirolo, o per ricavare in esso risparmi si usa il filo termico. Sono in fase di studio le potenziali applicazioni nella demolizione selettiva.

9 M4 Linee guida per la decostruzione

ABSTRACT (IT)

Vi è il pericolo che nei prossimi decenni si assisterà all'aggravarsi della miscelazione dei rifiuti provenienti da ristrutturazione e demolizione. Ciò è dovuto al prevedibile aumento delle demolizioni di edifici recenti per lo più caratterizzati da complesse stratigrafie contenenti isolamento termico e acustico. Questo nuovo flusso di rifiuti dovrà essere gestito diversamente dalle modalità attualmente impiegate. In particolare, bisogna prevedere un nuovo approccio alla demolizione dei manufatti edilizi.

A tal fine è stato redatto il progetto DeCO, il quale mira allo sviluppo di linee guida per la decostruzione e lo smontaggio degli edifici isolati di recente costruzione. Queste linee guida, contenute in apposite e ideate "schede di decostruzione" sono concepite come uno strumento di aiuto pratico da usare nella fase di approccio all'intervento di demolizione per determinarne le lavorazioni necessarie, in modo da poi separare e raccogliere i materiali evitando contaminazioni o dispersioni in ambiente. A queste vanno aggiunte le schede di fine vita dei materiali, le quali assieme ai piani dell'edificio andranno a formare il Piano di decostruzione finale.

Si sono individuati dei pacchetti costruttivi di riferimento per analizzarne decostruzione/smottaggio dai "Cataloghi degli elementi costruiti a nuovo e per risanamenti" redatti dall'Ufficio federale dell'energia svizzero. Successivamente, si è svolto un lavoro di sintesi, riconducendo tutti i casi riportati nei cataloghi, a 22 pacchetti costruttivi. A ciascuno dei pacchetti costruttivi di riferimento, è stata associata una scheda di decostruzione per un totale di 22 schede, riportate in allegato al seguente documento. Allo stesso modo sono riportate le schede di fine vita dei materiali isolanti impiegati negli edifici di nuova costruzione.

Lo studio definisce le fasi concettuali necessarie per una corretta attività di decostruzione. I passi fondamentali sono riportati nelle Schede di decostruzione degli elementi costruttivi e nelle Schede di fine vita dei materiali isolanti. Le Schede di fine vita dei materiali si focalizzano sui materiali isolanti riportando l'attitudine del materiale al riciclo, al reimpiego, allo smontaggio selettivo o alla sua eliminazione senza pericoli per la salute e l'ambiente. Vengono infine affrontate le tecniche e i diversi strumenti per la demolizione (convenzionale o controllata) e per la decostruzione, attualmente in uso.

ABSTRACT (FR)

Le mélange de déchets issus de l'assainissement et de la démolition risque d'augmenter au cours des prochaines décennies. Ceci est dû à l'augmentation prévisible de la démolition de bâtiments récents caractérisés pour la plupart par des stratigraphies complexes contenant des isolants thermiques et acoustiques. Ce nouveau flux de déchets devra être géré de façon différente des méthodes actuellement employées. En particulier, une nouvelle approche pour la démolition des bâtiments doit être envisagée.

C'est dans ce sillon que s'insère le projet DeCO, qui vise à développer des lignes directrices pour la déconstruction et le démontage des bâtiments récents isolés. Ces lignes directrices, contenues dans des "fiches de déconstruction" spécialement conçues, sont pensées comme un outil pratique à utiliser dans la phase d'approche des travaux de démolition pour déterminer le traitement nécessaire, afin que les matériaux puissent ensuite être séparés et collectés, en évitant la contamination ou la dispersion dans l'environnement. A cela s'ajoutent les fiches de fin de vie des matériaux qui, avec les plans du bâtiment, formeront le Plan de déconstruction final.

Les systèmes de construction de référence pour l'analyse de la déconstruction/démontage ont été identifiés à partir du "Catalogue des éléments de construction" rédigé par l'Office fédéral suisse de l'énergie. Par la suite, un travail de synthèse a été réalisé, en ramenant tous les cas rapportés dans les catalogues à 22 systèmes de construction. Une fiche de déconstruction a été associée à chacun des systèmes de construction de référence pour un total de 22 fiches, qui sont jointes au ce document. Les fiches de fin de vie des matériaux d'isolation utilisés dans les bâtiments neufs sont également fournies.

L'étude définit les étapes nécessaires à une déconstruction correcte. Les phases fondamentales sont présentées dans les Fiches de déconstruction des éléments de construction et dans les Fiches de fin de vie des matériaux isolants. Les Fiches de fin de vie des matériaux se focalisent sur les matériaux d'isolation en indiquant si le matériau convient au recyclage, au réemploi, au démontage sélectif ou à l'élimination sans mettre en danger la santé et l'environnement. Enfin, les techniques et les différents outils de démolition (conventionnelle ou contrôlée) et de déconstruction, actuellement utilisés, sont abordés.

ABSTRACT (DE)

Es besteht die Gefahr, dass die Vermischung von Renovierungs- und Abbruchabfällen in den kommenden Jahrzehnten zunehmen wird. Dies ist auf die absehbare Zunahme des Abrisses von jüngeren Gebäuden zurückzuführen, die meist durch komplexe Schichtungen mit Wärme- und Schalldämmung gekennzeichnet sind. Dieser neue Abfallstrom muss anders gehandhabt werden als die derzeit verwendeten Methoden. Insbesondere muss ein neues Konzept für den Abriss von Gebäuden ins Auge gefasst werden.

Zu diesem Zweck wurde das Projekt DeCO ins Leben gerufen, das darauf abzielt, Richtlinien für den Rückbau und die Demontage von neu errichteten isolierten Gebäuden zu entwickeln. Diese Richtlinien, die in speziell entworfenen "Rückbaumerkblättern" enthalten sind, sind als praktisches Hilfsmittel gedacht, das in der Vorbereitungsphase des Abbruchs verwendet wird. Somit können die notwendigen Arbeiten bestimmt werden, damit die Materialien anschliessend getrennt und gesammelt werden können, um eine Kontamination oder Verbreitung in der Umwelt zu vermeiden. Hinzu kommen die Ende der Lebensdauer-Merkblätter, die zusammen mit den Bauplänen den endgültigen Rückbauplan bilden.

Referenzbauteile für die Analyse von Rückbau/Demontage wurden aus den "Bauteilekatalog Neubauten und Sanierungen" des Schweizer Bundesamtes für Energie identifiziert. Anschliessend wurde eine Synthese erstellt, in der alle in den Katalogen aufgeführten Fälle auf 22 Bauteile zusammengefasst wurden. Jedem der Referenzbauteile wurde ein Rückbaumerkblatt zugeordnet, so dass sich insgesamt 22 Merkblätter ergeben, die im folgenden Anhang aufgeführt sind. In ähnlicher Weise werden auch die Ende der Lebensdauer-Merkblätter für die in neuen Gebäuden verwendeten Dämmstoffe dargestellt.

Die Studie definiert die notwendigen Schritte, die für einen ordnungsgemässen Rückbau erforderlich sind. Die grundlegenden Schritte sind in den Merkblättern für den Rückbau von Bauteilen und Ende der Lebensdauer-Merkblättern für Dämmstoffe dargelegt. Die Ende der Lebensdauer-Merkblätter für Materialien konzentrieren sich auf Dämmstoffe, indem sie die Tauglichkeit des Materials für Recycling, Wiederverwendung, selektiven Rückbau oder Entsorgung ohne Gefährdung von Gesundheit und Umwelt thematisieren. Schliesslich werden die Techniken und verschiedenen Methoden für den (konventionellen oder kontrollierten) Abriss und Rückbau, die derzeit verwendet werden, behandelt.

9.1 Modo d'uso

Le linee guida per la decostruzione sono concepite come **uno strumento di aiuto pratico da usare nella fase di approccio all'intervento di demolizione per determinarne le fasi e le lavorazioni** al fine di decostruire progressivamente l'edificio e raccoglierne ordinatamente i materiali evitando contaminazioni, dispersioni in ambiente e proteggendo la salute.

Le Linee guida di decostruzione sono concepite per allestire in modo semplice e veloce un **Piano di decostruzione** dell'edificio che contenga le procedure raccomandate di decostruzione degli elementi costruttivi dell'edificio.

Il **Piano di decostruzione** è strumento pratico sia nelle mani della Direzioni Lavori che dell'Impresa incaricata di eseguire i lavori che potrà eseguire le lavorazioni con l'aiuto delle raccomandazioni e degli approcci operativi proposti nel documento.

Contenuto del **Piano di decostruzione**:

- Piani dell'edificio
- Schede di decostruzione degli elementi costruttivi
- Schede di fine vita dei materiali



Figura 42 Contenuto del Piano di decostruzione

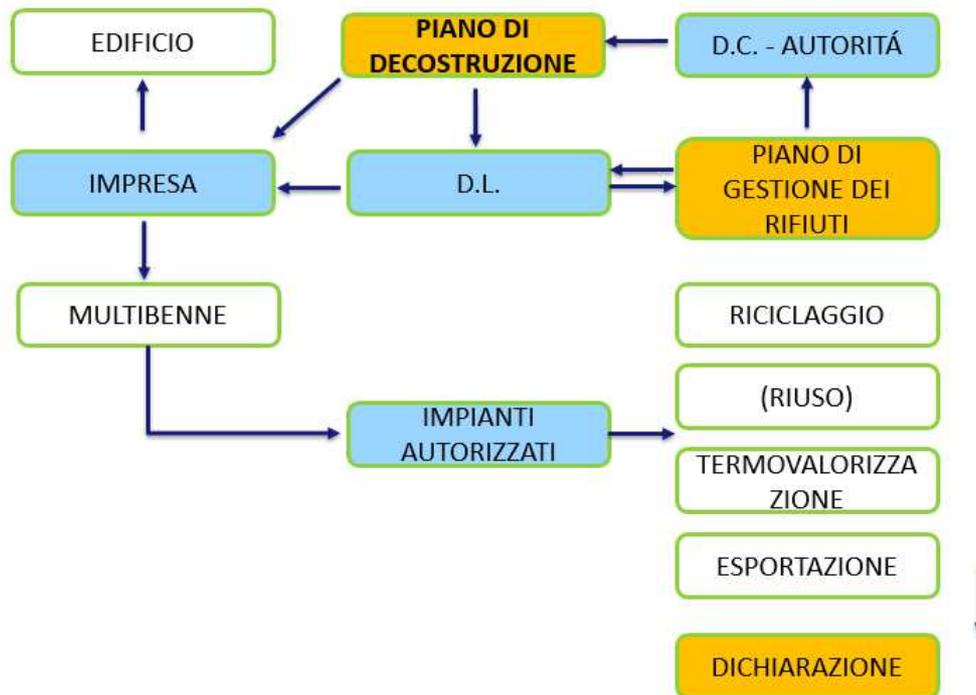


Figura 43 Relazione tra il Piano di decostruzione e i documenti attuali di Piano di gestione dei rifiuti e Dichiarazione di conferimento

Si individuano le seguenti fasi concettuali di approccio all'attività di decostruzione per un uso corretto delle *Linee guida per la decostruzione* e la redazione del **Piano di decostruzione**:

1. Determinazione dell'anno di costruzione dell'edificio e di eventuali risanamenti successivi.
2. Raccolta dei piani dell'edificio
3. Sopralluogo ed eventuali indagini invasive/non invasive
4. Determinazione delle tipologie di pacchetti costruttivi di cui è costituito l'edificio in riferimento al *Catalogo degli elementi costruttivi per la decostruzione*. È possibile anche individuare la tipologia costruttiva in riferimento ai cataloghi dell'Ufficio federale dell'energia e poi riferirsi al pacchetto costruttivo corrispondente.
5. Raccolta delle **Schede di decostruzione** corrispondenti agli elementi costruttivi dell'edificio individuati nel *Catalogo*
6. Raccolta delle **Schede di fine vita** dei materiali corrispondenti alle *Schede di decostruzione*. Considerando l'età di costruzione/risanamento dell'edificio, determinare se è probabile la presenza di materiali pericolosi o che esigono cautele particolari.
7. Marcare sui piani, in corrispondenza degli elementi costruttivi, il codice della Scheda di decostruzione corrispondente
8. Allegare ai piani dell'edificio le *schede di decostruzione* e le *schede di fine vita*, ottenendo il **Piano di decostruzione**.
9. Copie del Piano di decostruzione dovranno essere consegnate agli attori che si occuperanno dell'attività di demolizione. (Capitolato d'onori).

9.2 Catalogo degli elementi costruttivi per la decostruzione

Si sono individuati **pacchetti costruttivi di riferimento per la decostruzione/smontaggio** facendo riferimento ai Cataloghi degli elementi costruiti a nuovo^{64,65,66} e per risanamenti⁶⁷ editi dall'Ufficio federale dell'energia. Tali cataloghi sono concepiti per facilitare sia la progettazione degli elementi costruttivi, presentando il posizionamento standard per gli isolamenti termici, sia i calcoli al fine di determinare il potere isolante (calcolo della trasmittanza termica) ai fini progettuali ed in generale, per la verifica di rispondenza ai valori di trasmittanza termica dedotti o imposti da normative, leggi e regolamenti attuali. Questi documenti sono utilizzati dai progettisti quale supporto e quindi fungono anche da catalogo delle prassi edilizie in uso.

Si è svolto un lavoro di sintesi, riportando tutti i casi/pacchetti costruttivi riportati nei cataloghi (concepiti in origine per coprire tutti i casi di posizionamento dell'isolamento termico), a **22 pacchetti costruttivi** che rappresentano la casistica rilevante ai fini dell'attività di decostruzione.

In **ALLEGATO 1** si riportano direttamente le **Schede di decostruzione** che costituiscono di fatto l'elenco dei pacchetti costruttivi individuati.

Ad ogni pacchetto costruttivo sono associati i numeri di codice dei pacchetti costruttivi come classificati nei Cataloghi degli elementi costruttivi dell'UFE. In questo modo è possibile un collegamento tra i due cataloghi, cioè per ogni soluzione costruttiva riportata nei cataloghi dell'UFE è possibile trovare il riferimento sul catalogo decostruzione e quindi avere le indicazioni di come decostruirla.

64 Calcolo del coefficiente U e catalogo degli elementi costruttivi per nuovi edifici. Ufficio Federale dell' Energia UFE, 2001.

65 Catalogue des ponts thermiques. Office fédéral de l' énergie, 2003

66 Catalogo dei coefficienti U. Ufficio federale dell'energia UFE. 2016.

67 Calcolo del coefficiente U e catalogo degli elementi costruttivi per risanamenti. Ufficio Federale dell'Energia UFE, 2001.

9.3 Schede di decostruzione

A ciascuno dei pacchetti costruttivi di riferimento, è stata associata una scheda di decostruzione (22 schede).

In **ALLEGATO 1** si riportano direttamente le **Schede di decostruzione**

Le schede di decostruzione sono uno strumento operativo che contiene le raccomandazioni e consigli in merito all'approccio e alle sequenze di lavorazione da eseguire per mettere in pratica la decostruzione di ciascun elemento costruttivo ed ottenere materiali (rifiuti edili) il più possibile omogenei al fine di ottenere materiali più possibile puliti per aumentare l'efficienza del riciclaggio, evitare le dispersioni in ambiente di sostanze inquinanti e per non compromettere la possibilità di riusare taluni elementi della costruzione. L'obiettivo finale è, chiaramente, diminuire l'apporto in discarica come rifiuti edili di materiali non puliti/non riciclabili/non riusabili.

Particolare attenzione è posta al tema della presenza di isolamenti termici / acustici, per ogni scheda è specificato dove ci si attende la presenza di tali materiali nei diversi pacchetti costruttivi e la sequenza di operazioni e smontaggio ordinato dei vari strati di materiali in modo da non compromettere l'estrazione dei materiali isolanti. L'obiettivo principale è evitare il più possibile la miscelazione tra materiali isolanti ed inerti.

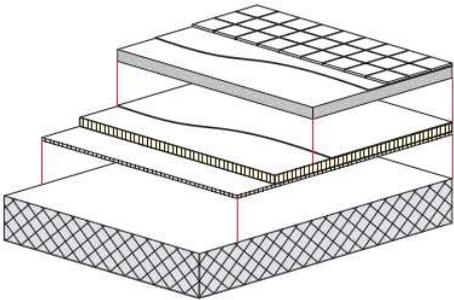
Le procedure portano ad una **scheletrizzazione dell'edificio fino alla struttura portante**, cioè si presuppone che le operazioni di decostruzione siano eseguite a mano o con macchine in modo fine per separare i vari strati e poi la demolizione della struttura portante avvenga una volta che tutti gli elementi costruttivi dell'edificio vengono portati allo stesso livello di decostruzione con la struttura portante esposta.

Ogni scheda è composta da **2 parti principali**:

- **Copertina:** contiene le indicazioni di pericolosità, pericolo di miscelazione e difficoltà di smontaggio dell'elemento costruttivo oggetto della scheda rappresentato in forma di esplosivo assonometrico. Sono indicati anche i codici degli elementi costruttivi del Catalogo degli elementi costruttivi dell'Ufficio federale dell'energia che è possibile decostruire facendo riferimento alla Scheda di decostruzione considerata. Sono indicate le Schede di fine vita nelle quali sono riportate le procedure di smaltimento degli isolanti termici che si prevede si otterranno alla fine della procedura di decostruzione. Infine sono indicati anche gli elementi costruttivi che potrebbero essere riutilizzati se vengono smontati in modo non distruttivo dall'elemento.
- **Procedura:** contiene le indicazioni generali di approccio all'elemento costruttivo (dove ci si attende la presenza dei materiali isolanti e a cosa fare attenzione) e le procedure di smontaggio raccomandate in sequenza. Con diversi colori si indica a quale elemento corrisponde l'operazione descritta nella procedura.

1.1 Isolamento termico o acustico sopra soletta, sotto sottofondo
1.1.1 Soletta massiccia

Pericolosità  Pericolo per l'ambiente e per la salute	Miscelazione  Alto pericolo	Difficoltà di smontaggio  Media difficoltà
--	--	---

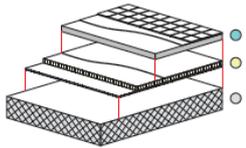


Riferimenti Cataloghi federali	B1, B8, B9, B14, B16, B18, B20, B21, Bs1, Bs2, Bs3, Bs4, Bs6, Bs11, Bs12, Bs13, Ds12, Ds13, Ds14, Ds15, Ds16, Ds17
Schede di fine vita	FV.1.1 - FV.1.8 materiali isolanti
Potenziale di riuso	Rivestimenti del pavimento non danneggiati (ceramica, legno, pietra naturale)

Figura 44 Scheda di decostruzione, esempio di copertina

- Le lastre di isolamento termico e acustico ed eventuali fogli plastici devono essere separate dal materiale inerte.
- Le lastre di isolamento termico e acustico ed eventuali fogli plastici si trovano sotto al sottofondo (di ca. 8 cm).
- **ATTENZIONE:** il sottofondo può contenere tubi plastici o metallici di riscaldamenti a pavimento o resistenze elettriche.

SEQUENZA DI DECOSTRUZIONE



- ① Demolire lo strato di pavimento e il sottofondo. Se possibile togliere prima il pavimento.
- ② Raccogliere separatamente il materiale inerte proveniente dalla demolizione del sottofondo contenente ev. tubi del riscaldamento a pavimento dagli altri materiali inerti puliti provenienti dalle demolizioni delle strutture massicce.
- ③ Raccogliere separatamente le lastre di isolamento termico e/o acustico ed ev. fogli di plastica.
- ④ Demolire la soletta massiccia (calcestruzzo).
- ⑤ Raccogliere separatamente il materiale inerte proveniente dalla demolizione della soletta massiccia dai materiali inerti misti risultanti dalla demolizione del sottofondo.

Figura 45 Scheda di decostruzione, esempio di procedura e di indicazioni preliminari di approccio

Per ciascuna scheda di decostruzione viene indicato al lettore, tramite simboli, se vi è una pericolosità attesa nelle operazioni di smontaggio/decostruzione, quale è il pericolo di miscelazione dei vari materiali, e quale è la difficoltà di smontaggio attesa, in particolare:

- **Pericolosità**

Si indica al lettore se nella decostruzione/demolizione dell'elemento costruttivo ci si attende un pericolo di dispersione in ambiente di materiali isolanti (p.e. pallini di polistirolo) o se vi è la possibilità che siano presenti materiali fibrosi. Questa indicazione non si sostituisce alle prescrizioni di legge, alle operazioni di bonifica e ai provvedimenti di sicurezza sul lavoro secondo lo stato dell'arte attuale ma è una indicazione secondo il principio di precauzione.

Pericolosità		
	Pericolo per l'ambiente e per la salute	evitare la dispersione in ambiente di materiali plastici (isolanti plastici) e/o di fibre (isolanti minerali)

Figura 46 Indicazione di pericolosità per ambiente e la salute. Questa indicazione non si sostituisce alle prescrizioni di legge, alle operazioni di bonifica e ai provvedimenti di sicurezza sul lavoro secondo lo stato dell'arte attuale ma è una indicazione secondo il principio di precauzione

- **Miscelazione**

Si indica al lettore se, per le caratteristiche costruttive dell'elemento (p.e. incollato, gettato,...) ci si attende che la separazione tra i diversi elementi sia difficoltosa e possa portare ad un pericolo di miscelazione tra diverse categorie di rifiuti alto, medio o basso. Con questa indicazione ci si riferisce soprattutto al pericolo di miscelazione tra materiali isolanti ed inerti.

Miscelazione		
	Alto pericolo	alto pericolo di mescolare tra loro materiali di classi diverse evitare in particolare la miscelazione tra materiali inerti, isolamenti termici e materiali di diverse categorie
	Medio pericolo	medio pericolo di mescolare tra loro materiali di classi diverse
	Basso pericolo	basso pericolo di mescolare tra loro materiali di classi diverse

Figura 47 Indicazione del pericolo di miscelazione tra materiali di categorie diverse, soprattutto tra materiali isolanti e materiali inerti

- **Difficoltà di smontaggio**

Si indica al lettore se si prevede che lo smontaggio ai fini della decostruzione debba essere fatto prevalentemente a mano o sia meccanizzabile. Si lascia comunque agli autori la scelta degli strumenti più opportuni o disponibili, l'importante è perseguire l'obiettivo finale di separazione pulita dei diversi elementi.

Difficoltà di smontaggio		
	Alta difficoltà	lavoro manuale
	Media difficoltà	meccanizzabile e con lavoro manuale
	Bassa difficoltà	meccanizzabile

Figura 48 Indicazione sulla difficoltà di smontaggio prevista

Graficamente si è deciso di rappresentare ogni sistema costruttivo di riferimento attraverso un **esploso assonometrico** che permette rapidamente di individuare le singole parti – materiali impiegati – e le tecniche di fissaggio. In questo modo è possibile risalire alle modalità di montaggio e, a ritroso, a quelle di smontaggio.

9.4 Schede di fine vita

Le **schede di fine vita** per i materiali isolanti hanno lo scopo di descrivere il materiale attraverso le informazioni necessarie per portarlo al termine della sua vita. Sono uno strumento informativo che documenta lo stato dell'arte nel trattamento dei rifiuti di materiali isolanti in processi di costruzione e demolizione. **Le schede di fine vita hanno lo scopo di definire i principi di gestione del fine vita del materiale considerando: l'attitudine del materiale al riciclo, al reimpiego, allo smontaggio selettivo, alla eliminazione senza pericoli per la salute e l'ambiente.**

Le schede di fine non forniscono indicazioni sul trattamento dei materiali in caso di presenza di sostanze pericolose, sono dunque escluse indicazioni per prodotti e materiali che generano rifiuti pericolosi. A questo proposito si rimanda alle prescrizioni di legge e alle specifiche schede di **Polludoc**.

Nel momento in cui ha avvio il processo di decostruzione è necessario in prima battuta procedere con l'identificazione dei materiali da rimuovere/smontare, in aggiunta, sarebbe consigliabile procedere con un campionamento mediante prelievo, saggio o smontaggio. Questa operazione, da attuare per qualsiasi tipologia di materiale isolante, ha lo scopo di individuare compiutamente il materiale: sequenza strati, spessori, dimensioni principali, età.

Ogni scheda è composta da 4 parti:

- **Identificazione del materiale:** fornisce indicazioni in merito al riconoscimento dei materiali, in particolare per quanto concerne le principali caratteristiche da verificare: aspetto, colore, densità. Inoltre, sono indicati i possibili formati e le denominazioni commerciali dei produttori svizzeri più diffusi. Sono anche indicate le principali norme tecniche di settore utili per la conoscenza dei requisiti dei prodotti. Una serie di foto a corredo del testo permettono di visualizzare il materiale oggetto della scheda. La documentazione fotografica è stata tratta da siti di ditte specializzate e da casistica disponibile negli archivi dell'Istituto materiali e costruzioni.
- **Elementi connotanti:** descrive gli elementi che connotano i materiali isolanti con lo scopo di fornire indicazioni utili al potenziale disassemblaggio. In particolare sono indicati: i potenziali pericoli derivanti dalla composizione del materiale stesso o da contaminazione secondaria; le modalità di incorporamento del materiale isolante termico nell'elemento costruttivo; i possibili fattori di degradazione del materiale che possono portarlo a essere "pericoloso" o inutilizzabile per un eventuale riciclo o riuso.
- **Gestione di fine vita del materiale:** contiene l'indicazione delle possibili filiere del "materiale rifiuto". In linea di principio le possibili filiere possono essere due: valorizzazione o eliminazione. Nella filiera di valorizzazione rientrano i processi di riciclaggio e trasformazione in materia prima secondaria, riuso e valorizzazione energetica come combustibile alternativo. Nella filiera dell'eliminazione rientra il processo di incenerimento e la messa in discarica. In particolare sono specificati i **processi da escludere (rossi)**, i **processi permessi (arancioni)** e **quelli da favorire (verdi)**.
- **Fattibilità e opzioni per il riciclo/riuso:** contiene informazioni sulle possibilità di riciclaggio o riuso del materiale.

Legenda gestione di fine vita:		
	Processo da escludere	Processo non permesso dalla legislazione.
	Processo permesso	Processo permesso dalla legislazione.
	Processo da favorire	Processo permesso dalla legislazione. Da preferire per favorire lo sviluppo di un'economia circolare. Opzioni e pratiche di trattamento già in atto o in fase avanzata di sviluppo.
	Processo da favorire	Processo permesso dalla legislazione. Da preferire per favorire lo sviluppo di un'economia circolare. Non esistono pratiche diffuse ma fattibilità da esplorare e implementare.

Figura 49 Gestione di fine vita dei materiali isolanti: indicazione dei processi permessi, da favorire e da escludere.

I processi da favorire sono quelli in cui il “rifiuto” viene valorizzato ed entra in un processo di riciclo o riuso.

Non per tutti i materiali ci sono pratiche già in atto e filiere di riciclo e/o riuso attive, per cui **nelle schede si segnalano le eventuali possibili prospettive e potenzialità di sviluppo da approfondire.**

Lo stato dell'arte delle schede di fine vita è relativo al periodo 2020-2021. È da intendersi che i contenuti saranno oggetto di costante ampliamento e aggiornamento sulla base di nuove conoscenze o prassi.

In **ALLEGATO 2** si riportano le schede di fine vita.

9.5 Potenzialità di riciclo/riuso dei materiali isolanti

9.5.1 Requisiti e limitazioni

La base per l'utilizzo di materiali isolanti in processi di riciclo e riuso è l'attuazione di una decostruzione non distruttiva e che non inquina (con sostanze secondarie) il materiale isolante. Tuttavia, le potenzialità di separazione, illustrate precedentemente, mostrano che questo è possibile solo per alcune applicazioni e con livelli di pulizia e distruzione del materiale molto differenti.

Anche se la decostruzione avvenisse secondo i criteri di purezza desiderati, e il materiale fosse disponibile in una condizione perfetta e senza minerali o altre impurità, non è prevedibile che prodotti isolanti come pannelli o la lana minerale possano essere riutilizzati con la stessa funzione. Ciò è dovuto al fatto che i prodotti isolanti installati difficilmente soddisfano i criteri di qualità odierni in termini di spessore, conducibilità termica e dimensioni corrispondono. Sulla base di queste ipotesi le possibilità di riutilizzo dovrebbero essere esaminate in modo più dettagliato con l'analisi di casi studio, per esempio ipotizzando, laddove fattibile, un "declassamento" dei materiali per applicazioni meno performanti con un prolungamento del loro ciclo di vita.

Una separazione pulita è essenziale per la reintroduzione di rifiuti di isolamento nel processo produttivo. In questo caso il materiale può anche essere distrutto durante le operazioni di demolizione, poiché verrebbe comunque frantumato nel corso della lavorazione.

Anche se il materiale isolante è puro e non inquinato, il riciclaggio non è sempre facilmente possibile.

Molti prodotti isolanti presentano strati di rivestimento realizzati con un'ampia varietà di materiali come per es.: foglio di alluminio, di carta, che possono essere separati nel corso della lavorazione ma con un impegno in termini di tempi e costi.

Ulteriori ostacoli al riciclaggio dei materiali isolanti sono quelli legati ai componenti del materiale stesso, per esempio la presenza di ritardanti di fiamma, agenti espandenti, o ancora all'incorporazione con strati suscettibili di contenere sostanze inquinanti/pericolose (ad esempio adesivi). Per queste ragioni in prima battuta deve essere esclusa la presenza di rifiuti che rientrano nella categoria di quelli pericolosi.

9.5.2 Prassi e prospettive

Per i prossimi decenni gli studi di settore convergono sul fatto che ci sarà un aumento, attraverso le ristrutturazioni e la demolizione di edifici esistenti realizzati con isolamento termico. Un flusso di rifiuti che andrebbe gestito in modo diverso dalle modalità attuali.

I risultati delle interviste a ditte produttrici ha permesso di far emergere che, al momento, **le possibilità di riciclo e riutilizzo dei prodotti isolanti provenienti dalla demolizione è estremamente bassa**. Da un lato, ciò è dovuto alla problematica legata alle modalità usuali di demolizione dei materiali isolanti e, dall'altra parte, le quantità attualmente disponibili non sono sufficienti a giustificare elevati costi di logistica (stoccaggio, trasporto, ecc.).

La maggioranza dei materiali isolanti provenienti dalla demolizione viene attualmente immessa nell'impianto di incenerimento dei rifiuti (EPS/XPS) o messa in discarica (lane minerali).

I ritagli puliti di nuove costruzioni e ristrutturazioni vengono restituiti al fornitore o al produttore, poiché i costi per questo servizio sono spesso già inclusi nelle condizioni di consegna. Questi materiali "puliti" rientrano nel ciclo produttivo.

Lana di roccia e fibra di vetro finiscono in parte in discarica con le frazioni di materiale inerte, ma la maggior parte del materiale viene mescolato con i rifiuti edili combustibili e smaltito nell'impianto di **incenerimento dei rifiuti**.

Per ogni materiale isolante considerato nel presente progetto nella Figura 50 viene restituito il quadro sinottico relativo ai processi permessi, da escludere e da favorire, secondo la logica descritta per le schede di fine vita al capitolo 9.4.

Considerato che in prospettiva la quantità di materiale isolante demolito continuerà ad aumentare, è possibile che si verifichino localmente picchi di carico (temporalmente e spazialmente). Inoltre, elevate percentuali di rifiuti di EPS e XPS durante l'incenerimento possono portare a interruzioni nel funzionamento dell'impianto: sia per la capacità che per motivi ecologici.

Ecco perché sarebbe auspicabile approfondire e privilegiare il riciclaggio/riuso dei materiali isolanti.

Per i materiali isolanti, si può generalmente presumere che **con le condizioni quadro attualmente prevalenti, che rendono difficilmente fattibile la demolizione non inquinata, il riciclaggio che può essere attuato è limitato**.

Inoltre, va sottolineato che la gestione logistica dei rifiuti (smontaggio, selezione, trasporto) è un fattore di pesante impatto ambientale che incide molto sulla valutazione di convenienza o meno di adottare un sistema di recupero. Si vedano in questo contesto anche i capitoli 7.3, 7.4 in merito allo stato dell'arte dei processi riguardanti i materiali isolanti.

Materiale isolante	RIUSO	RICICLO	INCENERITORE	DISCARICA
EPS XPS	●	●	●	●
PUR	●	●	●	●
Lana di Vetro	◐	●	●	●
Lana di Roccia	◐	●	●	●
Fibre di legno mineralizzate	◐	●	●	●
Lana/Fibre di legno	◐	◐	●	●
Sughero	◐	●	●	●
Vetro cellulare espanso	◐	●	●	●

Figura 50 Quadro sinottico delle filiere e dei processi ammessi (arancio), da escludere (rosso), da favorire (verde).

9.5.3 EPS / XPS: smaltimento in atto e processi di riciclo sperimentali

Nel documento elaborato dall'associazione "Produttori Europei di EPS" (EUMEPS), in cui viene presentato un impegno volontario a nome dei suoi membri⁶⁸ si legge che una notevole fonte di isolamento in EPS sono gli edifici, che soprattutto a seguito delle normative di riqualificazione energetica ha aumentato l'uso e la diffusione di questo materiale.

⁶⁸ EUMEPS EU Voluntary Pledge. EUMEPS, 2018.

L'EPS è un materiale isolante in schiuma plastica leggera, rigida, composta dal 98% di aria e dal 2% di polistirene. Viene tipicamente utilizzato nei sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS). I costruttori spesso scelgono l'EPS, perché è conveniente, durevole e facile da installare.

Attualmente la quantità di rifiuti isolanti in EPS provenienti dalla demolizione di edifici è limitato ma, in prospettiva, nei prossimi decenni la crescita sarà importante quando gli edifici realizzati con involucri isolati saranno a fine del loro ciclo di vita e dovranno essere dismessi.

Nel 2017 il flusso totale di rifiuti di schiuma EPS in Europa ammonta a 527.000 t. Di queste, 98.600 t. provengono dalla demolizione di edifici⁶⁹. Questo flusso di rifiuti in EPS dall'attività di costruzione aumenterà nei prossimi decenni e assicura un input sufficiente per il futuro riciclaggio fisico-chimico.

Nel caso di nuove costruzioni e ristrutturazioni, i ritagli che si generano in cantiere dei materiali isolanti vengono separati e confezionati in sacchi da 500 litri, che vengono trasportati e ritornati al produttore. Per gli scarti puliti, le aziende produttrici sono già attive e si adoperano per raccogliere gli scarti in cantiere e smaltirli.

I materiali isolanti provenienti dalle demolizioni non sono quasi mai utilizzati perché questo materiale di solito è troppo sporco. Particelle di polistirene espanso o rimacinato da scarti di EPS/XPS sono utilizzati come:

- riempimento per l'isolamento di cavità
- aggregato leggero per calcestruzzo, intonaco e malta; le particelle di polistirene espanso che vengono aggiunte riducono significativamente la densità apparente dei prodotti finali e garantiscono un miglioramento delle proprietà di isolamento termico.
- agente di porosità per mattoni.

Sarebbe sicuramente auspicabile un miglioramento del tasso di riciclaggio per questi materiali, ma il fatto che le materie prime siano estremamente economiche non favorisce l'avvio di processi virtuosi rivolti più alla sostenibilità e all'economia circolare.

L'auspicio è comunque che si avvii lo sviluppo di tecnologie per consentire il riciclo, includendo anche le tecniche di demolizione selettiva che favoriscono l'ottenimento di un flusso di rifiuti in EPS pulito e accettabile per il riciclaggio.

Nuove strategie di riciclo, come il riciclo fisico-chimico dell'EPS o il riutilizzo di materiale ed energia di tutti i componenti ETICS nelle cementerie, sono allo studio per offrire in futuro la possibilità di un'economia circolare per questi materiali. Ovviamente, condizione necessaria per la fattibilità e l'attuazione di questi processi virtuosi è la presenza di una catena di gestione dei rifiuti dal cantiere all'impianto di utilizzo con un adeguato trattamento dei rifiuti⁷⁰.

I materiali isolanti che vengono smontati e sono raccolti separatamente in benne monofrazione (36 m³) sono portati **all'impianto di incenerimento dei rifiuti**, dove per poter essere smaltiti (inceneriti) devono essere triturati. Attualmente non esistono restrizioni da parte del gestore dell'impianto di incenerimento dei rifiuti per quanto riguarda l'accettazione dei rifiuti EPS/XPS e PUR.

L'incenerimento di EPS, XPS e PUR negli impianti di incenerimento dei rifiuti è oggi il metodo di smaltimento più comune e offre i seguenti vantaggi:

- bassi requisiti per la pulizia e la percentuale di corpi estranei nei materiali da incenerire;

⁶⁹ "Post consumer EPS waste Generation and Management in European Countries 2017. EPS Packaging Waste and EPS Construction Waste". Conversio 2018.

⁷⁰ Heller N., Flamme S., "Waste management of deconstructed External Thermal Insulation Composite Systems with expanded polystyrene in the future", in *Waste Management & Research*, 2020 Apr, 38(4), pp. 400-407.

- le distanze di trasporto dai cantieri all'impianto di incenerimento dei rifiuti sono brevi (elevata densità di impianti di incenerimento dei rifiuti in Svizzera);
- recupero di energia;
- rimozione dell'esabromociclododecano (HBCD) dal ciclo del materiale.

Uno dei principali vantaggi dell'opzione di smaltimento termico è la completa distruzione dell'HBCD (ritardante di fiamma). Nell'ambito di un test su larga scala nell'impianto di incenerimento dei rifiuti di Würzburg (DE) sull'incenerimento di schiume EPS e XPS, commissionato da PlasticsEurope ed EXIBA (European Extruded Polystyrene Insulation Board Associated), è stato dimostrato che il limite superiore non deve superare il 2% in peso⁷¹. Ogni anno in Svizzera vengono inceneriti circa 3,8 milioni di tonnellate di rifiuti urbani (UFAM 2015), il che significa che ogni anno in Svizzera potrebbero essere incenerite quasi 80'000 tonnellate di rifiuti EPS/XPS. Proporzioni più elevate portano a interruzioni nel funzionamento dell'impianto. Le concentrazioni di diossine e furani alogenati e alogenati misti nel gas grezzo e pulito erano inferiori ai valori limite.

La **combustione con produzione di calore** (potere calorifico dell'EPS di circa 10.000 kCal/kg) permette il recupero di una parte dell'energia spesa per la produzione del manufatto in EPS (la cosiddetta energia di *feedstock*). La combustione con recupero di calore non si può considerare riciclo, ma è un modello che rientra nel recupero e valorizzazione degli scarti, considerato inoltre che la combustione di EPS contenente HBCD non ha effetti negativi sull'ambiente. Il potere calorifico dell'EPS viene utilizzato negli inceneritori e nei cementifici: 1 kg di rifiuti consente di risparmiare 1,3 litri di prezioso olio da riscaldamento. Il vantaggio di questo processo è che i requisiti relativi alla pulizia dei rifiuti di EPS sono bassi.

Lo smaltimento termico dei materiali isolanti contenenti HBCD è quindi probabilmente l'opzione migliore al momento. Lo svantaggio, tuttavia, è che i materiali di base EPS / XPS vengono distrutti e non possono più essere restituiti al ciclo produttivo del materiale. Un'opzione alternativa sarebbe disponibile solo se l'HBCD potesse essere eliminato attraverso il riciclaggio.

Il **riciclaggio** di EPS e XPS può essere effettuato in diversi modi:

1. *Recupero degli scarti puliti*

Rifiuti di polistirolo provenienti dalla produzione o dalla lavorazione in cantiere può essere sostanzialmente riutilizzato nel processo di produzione, a condizione che siano esenti da contaminazioni. Gli scarti (ritagli di materiale pulito privo di HBCD) vengono triturati e immessi nella produzione di materiali di recupero.

2. *Prolungamento della vita utile*

Un'ipotesi è quella di raddoppiare gli strati isolanti, conservando quelli esistenti e sovrapponeandone dei nuovi. A causa del crescente fabbisogno energetico nel settore edile, gli edifici già isolati dovranno essere maggiormente isolati nell'ambito dei lavori di ristrutturazione. Questo può essere fatto raddoppiando lo strato di isolante (conservazione del preesistente e aggiunta per sovrapposizione di un nuovo strato). Studi sulle prestazioni a lungo termine dei sistemi compositi di isolamento termico mostrano che un isolamento intatto, quindi che non è stato oggetto di condizioni che possono aver influito sullo stato di conservazione (errori di progetto, di posa o condizioni di esercizio non idonee) permette il raddoppio dello spessore⁷². Ciò consente di aumentarne la vita utile. Non si tratta di riciclaggio del materiale, ma piuttosto di un prolungamento della sua vita utile.

⁷¹ Mark F.E., Vehlow J., Dresch H., Dima B., Grüttner W., Horn J., "Destruction of the flame retardant hexabromocyclohexane in a full-scale municipal solid waste incinerator", in *Waste Management & Research*, 2015, vol. 33(2), pp. 165-174.

⁷² Albrecht W., Schwitalla C., "Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS", Fraunhofer IRB Verlag, 2015.

Poiché i vecchi pannelli in schiuma EPS contengono HBCD, avrebbe senso identificare chiaramente le diverse generazioni di EPS (possibilmente anche in un catasto). Solo in questo modo i diversi strati possono essere smontati e trattati separatamente durante una successiva demolizione.

3. Riciclo chimico-fisico di EPS con HBCD

L'EPS può essere sottoposto a un processo di riciclaggio chimico-fisico basato sulla tecnologia CreaSolv®. Il rifiuto isolante in polistirene inquinato viene in una prima fase disciolto in un solvente selettivo, per cui polimeri estranei e impurità come colla o malta adesiva rimangono non dissolte nel solvente e possono quindi essere separati. Dall'esperienze finora sviluppate possono essere utilizzati anche con rifiuti di EPS molto sporchi, e nonostante ciò si può ottenere un polistirene riespandibile di qualità pari a quella di un nuovo prodotto. L'industria dell'EPS punta sul progetto di ricerca "PolystyreneLoop" che, dal 2003 si occupa del processo di riciclaggio per rifiuti di EPS contaminati con l'obiettivo produrre polistirene riespandibile⁷³.

Gli scarti di PS vengono sciolti e il polistirolo recuperato. Successivamente, le rimanenti impurità compreso l'HBCD vengono distrutti e il bromo viene recuperato. Questo processo è già stato incluso nelle linee guida tecniche della Convenzione UNEP di Basilea come migliore tecnologia di riciclaggio disponibile per gestire i rifiuti HBCD. Il polistirene, sottoposto a questo processo, può essere utilizzato come materia prima per la fabbricazione di prodotti in polistirene. Oltre al recupero del polimero, viene eliminato anche l'HBCD e recuperato il bromo.

Nel 2019 è stato costruito un impianto dimostrativo a Terneuzen (Paesi Bassi) con lo scopo di sperimentare il riciclo di rifiuti di demolizione in schiuma di polistirene (PS) contenenti il ritardante di fiamma esabromociclododecano (HBCD). Questo impianto pilota ha lo scopo di dimostrare le caratteristiche tecniche, economiche e fattibilità ambientale del processo di riciclaggio fisico-chimico messo a punto. L'impianto dimostrativo *PolyStyreneLoop* dovrebbe eseguire una fase di test fino al 2021. Nel frattempo sarà valutata la fattibilità tecnica, economica e ambientale. Dopo i risultati positivi il concetto è destinato a essere gradualmente esteso ad altre località in tutta Europa per far fronte ai (presunti) imminenti volumi di rifiuti di schiuma PS nei successivi 10 anni.

Anche il polistirene estruso può presumibilmente utilizzare lo stesso processo. Per altri materiali isolanti di materie prime sintetiche, come poliuretano e resina fenolica, questo processo non è applicabile.

Se tale processo si affermasse, potrebbero essere esplorate nuove strade nella produzione di EPS. Poiché il materiale di base (granulato di PS) della produzione di EPS rappresenta circa il 60 - 80% dei costi di produzione, e potrebbero essere ridefiniti anche gli incentivi economici per il ritiro. Decisiva per il successo del progetto sarà la disponibilità del materiale in ingresso in misura sufficiente quantità e qualità. Per questo la raccolta e il pretrattamento dei rifiuti di schiuma PS è una fase essenziale per l'attuazione del riciclo, così come l'identificazione delle opportune tecniche di demolizione. Infatti, *PolyStyreneLoop* richiede alcune specifiche di input relative alle impurità del materiale: HBCD contenuto < 1,5% in peso, contenuto di acqua ≤ 3% e tutte le altre impurità ≤ 7% in peso (PUR, lana minerale, cemento, chiodi/ferro e colla). Non sono ammesse impurità bituminose.

Una valutazione del ciclo di vita⁷⁴ conferma i benefici ambientali del processo *PolyStyreneLoop* rispetto all'incenerimento; lo studio dimostra che l'impronta di carbonio è quasi dimezzata. Per ogni tonnellata di schiuma PS trattata si risparmierebbe l'equivalente di 3 t di CO².

⁷³ Demacsek C. et al., "PolyStyreneLoop – The circular economy in action", 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 323 012149.

⁷⁴ "Life Cycle Assessment for End of Life Treatment of Expandable Polystyrene (EPS) from External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS)". TÜV Rheinland LGA Products, 2018.

Questi processi innovativi (e al momento sperimentali) richiedono comunque dei pretrattamenti del materiale smantellato, anche per queste fasi sono in corso delle sperimentazioni di seguito brevemente illustrate.

Sempre nell'ambito del progetto *PolyStyreneLoop*, si studia una tecnologia sviluppata per la **pulizia di pannelli per tetti piani in EPS con bitume**: *EPS Powerbrush*⁷⁵. Nel cantiere di demolizione il bitume viene rimosso a mano dai pannelli in EPS. Il bitume viene raccolto e segue uno speciale percorso di riciclaggio. Quindi i pannelli EPS vengono impilati e trasportati all'impianto di pretrattamento. Per questa tecnologia la contaminazione massima dell'EPS deve essere max 15%. Il risultato sono pannelli in EPS puliti, privi di bitume, che può quindi essere utilizzato per un ulteriore riciclaggio. Nel 2014 questo sistema è stato testato per un tetto piano in EPS di 6000 m². Purtroppo non sono disponibili ulteriori informazioni in merito.



Figure 3. EPS flat roof boards with bitumen leftovers before and after treatment [18].

L'EPS è un materiale leggero, perché composto per il 98% da aria, con una densità di 11-30 kg/m³. Questo lo rende facile da movimentare in cantiere, tuttavia per ottimizzare il trasporto il materiale deve essere compattato per ridurne il volume. Pertanto sono allo studio **modalità di pretrattamento per il trasporto**. La tecnologia per compattare l'EPS dai cantieri di demolizione è già disponibile e una serie di produttori vendono i macchinari necessari (compattatori mobili). La temperatura all'interno di un compattatore a vite è un problema critico per la compattazione dell'EPS, perché la temperatura dell'EPS aumenta durante la compattazione. Se la temperatura del materiale supera i 90 °C, EPS può iniziare a degradarsi. Ciò è indesiderato per la qualità del prodotto in polistirolo e potrebbe portare ad un intasamento nel meccanismo a vite. Pertanto questi compattatori devono essere associati a un'unità di raffreddamento.

Anche lo studio di modalità di **pretrattamento per la separazione dei materiali con differenti densità** è strategico. La Münster University of Applied Sciences e RWTH Aachen University sta ricercando il pretrattamento necessario per gli ETICS per i diversi processi di riciclo in fase di sviluppo (come per es.: *PolyStyreneLoop*). Attraverso la frantumazione di ETICS con diversi carichi di sollecitazione, un EPS puro può essere ottenuto con un flusso che permette di separare il materiale. Esso si basa sulla densità del materiale che può essere facilmente separato da altro materiale usando un flusso d'aria⁷⁶.

4. Riciclo dei materiali di XPS

In linea di principio vale quello che è stato descritto per il riciclaggio dell'EPS. Anche qui i granuli triturati potrebbero essere restituiti alla produzione di pannelli XPS o EPS.

L'XPS prodotto prima del 2002 contiene CFC e (H)CFC come agenti espandenti, rendendo questi materiali alla fine del ciclo di vita un rifiuto pericoloso. *PolyStyreneLoop* sta lavorando anche su un pretrattamento per questo flusso di rifiuti consentendo il rilascio e la cattura sicuri anche degli (H)CFC.

⁷⁵ "Selektiver Rückbau von EPS-Flachdächern mit EPS Powerbrush", PolyStyreneLoop Cooperative, Information Sheet, 2018.

⁷⁶ Heller N., Simons M., "Disposal of exterior external thermal insulation composite systems containing EPS", in *Recovery Worldwide*, 2018, vol. 8 (3), pp. 16–24.

9.5.4 PUR

Poiché il poliuretano non costituisce una parte importante dei rifiuti edili, non è la preoccupazione principale di coloro che sono coinvolti nel settore. Altri materiali come calcestruzzo o cemento sono presenti in quantità e tonnellaggi molto maggiori. Gli attori preferiscono quindi concentrarsi sull'ottimizzazione del recupero di questi rifiuti prima di studiare la questione del poliuretano. Soluzioni specifiche di riciclo del poliuretano usato come isolamento termico negli edifici non sono ancora state prese in considerazione. Tuttavia, una riflessione sugli standard e sulle procedure di riciclaggio è opportuna, soprattutto in prospettiva.

Come con EPS e XPS, anche il PUR può essere sciolto. Il poliolo risultante, compreso il contenuto di isocianato, può in linea di principio essere restituito alla produzione. Ciò significa che sono necessarie meno materie prime.

Il poliuretano espanso rigido è un materiale plastico termoindurente e sulla base delle esperienze acquisite⁷⁷ ha dimostrato di avere un'eccellente durabilità. Per questo, se le modalità applicative non hanno determinato un legame indissolubile tra il poliuretano e altri materiali edili, il prodotto isolante recuperato da edifici dismessi può essere riusato con le medesime funzioni in altre applicazioni. Ovviamente, un simile approccio richiede un controllo delle prestazioni residue del materiale prima della nuova installazione.

I diversi tipi di poliuretani (rigidi, flessibili, ecc.) possono essere riciclati utilizzando tecnologie note alle industrie di settore⁷⁸: recupero meccanico, riciclo chimico (glicolisi), recupero energetico mediante termovalorizzazione. Le diverse opzioni variano in funzione del tipo di poliuretano e delle sue condizioni al momento della dismissione.

Pannelli sandwich, per esempio, sono normalmente installati con fissaggi meccanici e possono quindi essere agevolmente smontati e riutilizzati in nuove applicazioni.

Diverse sono le condizioni applicative dei pannelli con rivestimenti flessibili che, nella maggior parte delle situazioni, sono solidamente ancorati alla struttura edilizia con adesivi, bitumi, intonaci. In questi casi la separazione e il distacco dei prodotti ne comprometterebbero l'integrità riducendo (o del tutto annullando) la possibilità di riutilizzo.

Nei casi in cui i pannelli in poliuretano siano fissati meccanicamente o utilizzati liberi in intercapedini di pareti o di coperture, è possibile selezionare il materiale isolante recuperato e utilizzarlo per altre applicazioni di isolamento termico.

Possibilità di riciclo del poliuretano rigido è quello di frantumare il materiale per ottenere polvere da reimmettere nel ciclo produttivo. Ovviamente questa opzione è valida per materiale di sfrido, pulito e non contaminato.

Anche il recupero energetico è una strada percorribile, anche se non rientra nel concetto di riciclo del materiale. Di fatto esperienze in questo settore hanno dimostrato che la combustione di schiuma poliuretana, mescolata ai rifiuti, non altera né il processo né i prodotti della combustione che ne derivano.

9.5.5 Lane minerali: lana di roccia e lana di vetro

La situazione dello smaltimento e del riciclaggio della lana minerale corrisponde in gran parte alla situazione sopra descritta per i materiali isolanti organici. Anche in questo caso le ditte produttrici riprendono i ritagli di scarto dei propri prodotti. I materiali isolanti minerali provenienti dallo smantellamento vengono restituiti alla produzione solo in piccole quantità per motivi di costo. Flumroc AG accetta ogni anno circa 200 tonnellate di rifiuti di lana di roccia puliti (non accoppiati ad altri materiali o frammisti di fili metallici, né essere sporchi di

⁷⁷ ANPE, "Il poliuretano espanso rigido per l'isolamento termico", Studio Emme Edizioni, Vicenza, 2009.

Götze H., "Untersuchung des Langzeitverhaltens von Polyurethan-Hartschaum im Flachdach", Gutachten Juni 1988, im Auftrag des IVPU Industrieverband Polyurethan Hartschaum e. V.

⁷⁸ Zia K.M., Bhatti H.N., Bhatti I. A., "Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review", in *Reactive and Functional Polymers*, Vol. 67, No. 8, 2007, pp. 675-692.

bitume o intonaco) di cui il 75-80% proviene dai cantieri di nuova costruzione e ristrutturazione. Quando i produttori utilizzano rifiuti di lana minerale nella produzione solitamente è sempre il proprio prodotto, mai un prodotto di un'altra ditta.

La maggior parte del materiale è miscelato con i rifiuti edili combustibili e smaltito nell'impianto di incenerimento dei rifiuti.

Non sono note le proporzioni dei materiali isolanti minerali che vengono smaltiti direttamente in discarica con la frazione minerale, tuttavia, non sono accettati volentieri in quanto occupano volumi significativi.

Il **riciclaggio** del materiale delle fibre minerali è sostanzialmente possibile. I requisiti di pulizia e corpi estranei sono notevolmente inferiori rispetto ai materiali isolanti organici a causa del processo di fusione altamente termico. I prerequisiti per il riciclaggio dei materiali di lana minerale dallo smantellamento sono:

- separazione tra lana di vetro e lana di roccia;
- composizione materiale nota delle fibre minerali prelevate (motivo per cui, al momento, ogni ditta ritira le proprie lane minerali e non quelle di altre);
- presenza della minor quantità possibile di corpi estranei.

La lavorazione della lana minerale dopo l'accettazione viene inizialmente eseguita a mano. I fogli di alluminio e l'intonaco vengono rimossi. Quindi la lana minerale viene alimentata in un frantoio a vite e quindi su un laminatoio per tubi a barre.

Il **riciclaggio della lana di roccia** nella produzione di prodotti isolanti è pratica comune a tutti i produttori. Anche i residui nella produzione dei prodotti isolanti difettosi vengono composti con cemento e acqua mescolati e pressati in bricchette modellate riciclate. In Germania, l'azienda ROCKWOOL utilizza il materiale isolante in questo modo dal 1994.

L'unico produttore in Svizzera di lana di roccia (Flumroc AG) ritira i ritagli puliti e le parti in lana di roccia decostruite. L'isolamento viene separato dai residui, fresato e miscelato con la produzione. Questi prodotti vengono pressati in bricchette prima di essere aggiunti nel forno di fusione e ritrattato in isolamento in lana di roccia. La Flumroc AG, applica un concetto di restituzione degli scarti di lana di roccia; vengono offerti sacchetti di plastica separati per un imballaggio sicuro e il trasporto di rifiuti isolanti da rispedire al produttore. L'incentivo interessante è che al momento dell'acquisto di nuovi prodotti il trasporto di ritorno del materiale isolante di scarto al produttore è a carico del produttore.

Ulteriori possibilità per il riciclaggio dei rifiuti della lana di roccia possono essere⁷⁹:

- flocculazione della lana di roccia: i rifiuti di lana di roccia diventano granulati che sono utilizzati come isolante insufflabile;
- aggiunta come agente di porosità nell'industria dei mattoni.

I **rifiuti di lana di vetro** hanno opzioni di riciclaggio simili ai rifiuti di lana di roccia. Per quanto concerne la quantità di lana di vetro (ditta ISOVER Saint-Gobain) la raccolta è piuttosto scarsa. Per il riciclaggio di grandi quantità di lana di vetro è necessario un ulteriore processo di fusione in un apposito forno per ottenere un prodotto che poi deve essere fuso ed estruso nuovamente su stuoie di lana di vetro.

Un concetto di ritiro e riciclaggio per la lana di vetro è operativo in Francia con *Isover recycling*, un servizio a circuito chiuso per il riutilizzo dei rifiuti di vetro-lana da costruzione e demolizione. In paesi come Svizzera, Danimarca e Svezia offrono servizi di riciclaggio della lana di vetro per i rifiuti pre-consumo. Dal 1993 ISOVER Svizzera ha introdotto un sistema per raccogliere e riciclare gli scarti di lana di vetro ISOVER dai cantieri edili. Gli appaltatori restituiscono, tramite rivenditori di materiali da costruzione, i rifiuti in sacchetti appositamente progettati e forniti gratuitamente.

La lana di vetro è riciclabile al 100% e infinitamente riciclabile, sono vent'anni che ISOVER⁸⁰ ha creato questo circolo virtuoso attraverso un processo industriale unico: *Oxymelt*. Questo è un processo utilizzato nello stabilimento ISOVER di Orange, in Francia, dal 1997. I rifiuti vengono fusi con aria arricchita di ossigeno per ottenere una lana minerale che può essere utilizzata come materia prima vitrea nel processo di fusione del vetro. A livello edilizio, i rifiuti di lana di vetro rappresentano (al momento) una quota molto piccola (0,2% dei rifiuti di costruzione), tuttavia per ISOVER, questa rappresenta un'opportunità per essere più coinvolti nell'economia circolare, nonché una fonte non sfruttata di materia prima.

Il riciclaggio della lana di vetro dalla decostruzione è senza dubbio una delle principali sfide nel trattamento dei rifiuti da costruzione. Per questa ragione sul sito di *Isover recycling* si legge: *“Abbiamo lanciato una vasta campagna per formare professionisti nei cantieri di smistamento e organizzazione in loco con l'obiettivo di raccogliere lana perfettamente ordinata, consentendo a tutti di beneficiare di tariffe più interessanti”*.

Con queste iniziative virtuose la lana di vetro passerebbe da essere rifiuto destinato a discarica a un recupero del 100% finalizzato al riciclaggio sistematico.

⁷⁹ WECOBIS, “Ökologisches Baustoffinformationssystem. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung”, Berlin, 2013. Online verfügbar unter: www.wecobis.de, abgerufen am 16.3.2013.

⁸⁰ ISOVER St. Gobain, 2018. *ISOVER Recycling - les déchets de laine de verre ont désormais une filière de recyclage - Dossier de presse*.

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti



Fonte: Isover recycling.

9.5.6 Sughero

È ammesso lo smaltimento nell'impianto di incenerimento rifiuti e non è permessa la messa in discarica.

Rifiuti di sughero puliti e non trattati possono essere reintrodotti nel processo produttivo.

Un'altra opzione è la trasformazione in sughero frantumato, che viene utilizzato per l'isolamento sfuso o soffiato. Con il sughero non trattato esiste anche la possibilità di compostaggio o l'uso per allentare i terreni.

Rifiuti isolanti contaminati come pannelli in sughero trattati con bitume non possono essere riciclati o riusati (per esempio prolungamento della vita utile) per scopi di isolamento e devono trattati termicamente.

Accertata l'assenza di sostanze pericolose, il sughero impregnato può essere utilizzato sotto forma di riempitivo di sughero impregnato.

Al momento non esiste alcun concetto di riciclaggio a causa della messa in opera con sostanze che lo contaminano. Si tratta in ogni caso di quantitativi relativamente ridotti rispetto alla totalità di materiali isolanti impiegati nella costruzione.

9.5.7 Fibre/lana di legno

Nel caso dei pannelli isolanti in fibra di legno il processo previsto è quello del recupero termico.

L'isolamento in fibra di legno è fatto di trucioli di legno di scarto e dopo l'uso come isolamento termico negli edifici può essere utilizzato per la produzione di energia oppure, tagli puliti dai pannelli di fibra, possono essere triturati e i risultanti trucioli riutilizzati nuovamente nella produzione di isolamento (PAVATEX SUISSE AG).

Al momento non esiste un concetto di riciclaggio/riuso, tuttavia a seconda della posa in opera dei pannelli il materiale è potenzialmente riciclabile e riusabile previa verifica delle prestazioni residue.

9.5.8 Vetro espanso

Opzioni per il vetro espanso

I produttori riconoscono la necessità di riciclare il vetro espanso e stanno promuovendo questa pratica. In termini di tecnologia di processo, è possibile ottenere un riciclaggio del vetro espanso con rifusione del vecchio materiale. Anche la separazione non sembra essere un problema particolare, per esempio la frequente combinazione di materiali dei pannelli di vetro espanso e strati bituminosi incollata può essere oggetto di separazione con la tecnica dello strappaggio.

Il riciclo del vetro espanso, allo stato attuale delle conoscenze, porta a ottenere prodotti di qualità inferiore rispetto all'originale, pertanto è una opzione ancora poco sviluppata.

Da un punto di vista ecologico, oltre che economico, idealmente un prodotto può per essere utilizzato per un secondo scopo senza complessi processi di conversione (per esempio vetro espanso riciclato come agglomerato minerale in aggiunta al calcestruzzo). Questo è particolarmente vero per il riciclaggio di vecchi pannelli isolanti in vetro espanso smontati.

Il vetro espanso raccolto nei cantieri viene frantumato negli impianti, schiacciato e viene utilizzato per sottostrutture stradali, isolamento termico sfuso, materiale di riempimento di trincee. Quindi gli usi del vetro espanso riciclato, al momento, riguardano lavori edili per il cui il materiale entra a contratto con terreno e acqua, pertanto, prima del suo utilizzo, è essenziale procedere con il test dell'eluato (per Foamglas® sono stati eseguiti da EMPA) al fine di escludere che questi materiali di riciclo possano avere effetti dannosi per l'ambiente.

9.5.9 Conclusioni

Le attuali pratiche di installazione e demolizione, così come l'incenerimento (processo permesso) di materiali isolanti sintetici contribuiscono a una bassa circolarità del materiale.

Attualmente vengono restituiti alla produzione principalmente gli scarti (ritagli, avanzi) di installazione di nuove costruzioni e delle ristrutturazioni. La ragione di ciò è che i costi di smaltimento sono spesso inclusi nei costi di consegna. Le società di isolamento hanno quindi un incentivo a raccogliere il materiale separatamente.

Al contrario, con i materiali isolanti demoliti, non è economicamente interessante al momento riportare il materiale in produzione. Parte del materiale viene raccolto in monofrazione nei cantieri, ma viene poi nuovamente miscelato con altre frazioni di rifiuti edili. Le imprese di demolizione avrebbero la volontà di ritirarli separatamente, tuttavia, le condizioni di accettazione presso i produttori nonché i costi di trasporto e smaltimento attualmente impediscono il riciclaggio dei materiali.

La sintesi della situazione dello smaltimento e del riciclaggio mostra che esiste un notevole potenziale di riciclaggio per i materiali isolanti. Sono necessari ulteriori sforzi da parte di tutti i soggetti coinvolti (enti pubblici, committenti, imprese di demolizione, raccolta, smaltimento e produttori). In particolare, i produttori, ben consapevoli della situazione stanno sviluppando nuove soluzioni nel campo della lavorazione dei materiali isolanti organici. Anche nel caso dei materiali isolanti minerali, i produttori stanno cercando di aumentare il tasso di riciclaggio.

Attualmente, il riciclaggio dei materiali isolanti non è favorito. Oltre alle sfide tecniche poste dall'inquinamento da ritardanti di fiamma, adesivi o gesso, questo ha anche ragioni logistiche (spazi di cantiere spesso inadeguati) ed economiche (tecniche di demolizione selettiva apparentemente più costose). Tuttavia, il riciclaggio sarebbe auspicabile e in fase di dismissione del patrimonio edilizio esistente ne andrebbe valutata la fattibilità⁸¹.

In prospettiva i materiali isolanti dovranno essere concepiti per essere esenti da sostanze pericolose, per essere facili e veloci da installare e rimuovere, per essere riusati o rientrare nel ciclo di produzione di materia prima seconda.

Attualmente la maggior quantità di materiale isolante viene incenerita o gettata in discarica e solo una piccola quantità viene riciclata, in particolare per merito di alcune aziende che ritirano i propri materiali e li reintroducono nel processo produttivo.

Attualmente il materiale viene raccolto in frazioni miste che possono entrare nel processo di combustione o andare in discarica (tipo B o E). Le opzioni per un maggior riciclaggio possono avere senso nel momento in cui è possibile attuare una migliore separazione dei materiali.

L'attuale circolarità dei materiali isolanti in Svizzera è bassa. Per aumentare la circolarità è necessario considerare una migliore separazione in loco e un processo per la separazione di materiale isolante e, laddove necessario evitare la contaminazione con sostanze pericolose.

In prospettiva, dunque, per favorire pratiche di riciclo/riuso del materiale isolante saranno da implementare pratiche di costruzione che consentano un facile montaggio e smontaggio dei materiali da costruzione.

Attualmente i costi di riciclaggio spettano completamente alla ditta che demolisce. **L'introduzione di una tassa di riciclaggio anticipata, per esempio pagata al momento dell'acquisto di materiale isolante**, ridurrebbe significativamente (fino ad annullarlo) l'onere finanziario del riciclaggio alle imprese di smantellamento

⁸¹ Sormunen P., Kärki T., "Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing", in *Journal of Building Engineering*, vol. 4, 2019.

stimolando alla raccolta e al riciclaggio dei materiali isolanti usati. Questo è un concetto che si è dimostrato utile, ecologico ed economicamente vantaggioso, per esempio nel contesto dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche in Svizzera e che è stato introdotto con l' Ordinanza concernente la restituzione, la ripresa e lo smaltimento degli apparecchi elettrici ed elettronici(ORSAE; RS 814.620)⁸².

Per lo smontaggio vengono utilizzate macchine edili di varie dimensioni e utensili manuali. Le difficoltà operative non dipendono solo dal materiale da costruzione, ma anche dal componente e dalla situazione di installazione. È relativamente difficile raccogliere dati di valutazione del ciclo di vita specifico del materiale da costruzione per lo smantellamento, per questo sarebbe auspicabile avviare un processo di monitoraggio dei cantieri per la realizzazione di un database al fine di condividere informazioni e dati utili.

Il destino dei materiali isolanti quando raggiungono il loro fine vita dovrebbe essere studiato già in fase di progettazione poiché i prodotti facilmente separabili da altri materiali sono molto più facili da riutilizzare o riciclare. Uno smontaggio più semplice faciliterebbe, inoltre, la riparazione e/o la rigenerazione e/o le ristrutturazioni. In prospettiva, dunque, una grande influenza sulle strategie di circolarità dei prodotti da costruzione l'avranno i progettisti che dovranno operare scelte volte a considerare l'edificio non solo al "momento 0" della sua esistenza ma al "momento terminale" della sua esistenza (dismissione, trasformazione, demolizione).

⁸² Kägi T., Franov E., "Ökobilanz Stiftung SENS - Ökologischer Nutzen des Elektrogeräte-Recyclings durch die SENS über 25 Jahre", 2016, Basel.

10 M5 Analisi dei costi di decostruzione

ABSTRACT (IT)

Al fine di determinare un ordine di grandezza dei possibili maggiori costi dovuti all'applicazione delle linee per la decostruzione degli edifici si è eseguita una stima di massima dei costi ipotizzando la futura demolizione di diverse tipologie di edifici (monofamiliare, plurifamiliare, scuola) costruiti secondo gli standard di isolamento termico attuale. Si sono considerati 10 scenari, considerando 3 diverse destinazioni d'uso degli edifici e 4 tecnologie costruttive.

Si è giunti a determinare, quale ordine di grandezza, che una demolizione tramite decostruzione degli edifici recenti isolati potrebbe costare **mediamente ca. il 60%** in più rispetto ad una demolizione convenzionale secondo lo stato dell'arte attuale. Tale costo sarebbe causato da un maggior corso per la manodopera e per opere provvisorie aggiuntive.

Bisogna considerare che in tutti i casi, anche non attuando una decostruzione sistematica, i costi di manodopera e demolizione convenzionale aumenteranno in futuro per edifici isolati a causa della massiccia presenza di isolamenti termici che dovranno essere separati, almeno grossolanamente, pena ottenere dei rifiuti edili inerti completamente miscelati con altre categorie di rifiuti, compromettendo così la filiera di riciclaggio e separazione attuale e aumentando notevolmente i conferimenti in discarica. Quindi **si può assumere che la differenza di sovra costo reale futura potrà essere minore della stima effettuata.**

La decostruzione degli edifici è una condizione necessaria per impostare una economia circolare negli edifici, permettendo di ridurre il pericolo di miscelazione soprattutto tra inerti e isolamenti termici. In merito a questo tema si è stimato che una decostruzione sistematica potrebbe portare ad un calo dei costi di conferimento in discarica (inerti) medi di ca. il 23% e dei volumi di ca. il 22% fino al il 93% dei possibili costi di discarica e di ca. il 96% dei volumi conferiti se si ipotizza un riciclo completo del materiale inerte.

Si sottolinea che il tema della decostruzione si presenta come il maggior costo iniziale in ottica di una economia circolare degli edifici che porterà a valorizzare i rifiuti edili come materia prima e componenti per nuovi edifici. Approfondendo i successivi passi per una economia circolare degli edifici sarà quindi possibile completare e studiare i costi e i ricavi considerando le possibili filiere di riciclaggio e riuso dei materiali.

ABSTRACT (FR)

Afin de déterminer un ordre de grandeur des surcoûts potentiels dus à l'application des lignes directrices de déconstruction des bâtiments, une estimation approximative des coûts a été faite en supposant la démolition future de différents types de bâtiments (maison individuelle, immeuble de logement, école) construits selon les normes actuelles d'isolation thermique. 10 scénarios ont été envisagés, en considérant 3 utilisations différentes des bâtiments et 4 technologies de construction.

Il a été déterminé, comme ordre de grandeur, qu'une démolition par déconstruction des bâtiments récents isolés pourrait coûter en **moyenne environ 60 % de plus** qu'une démolition conventionnelle selon l'état de l'art actuel. Ce coût serait dû à l'augmentation des dépenses pour la main-d'œuvre et aux travaux préparatoires supplémentaires.

La déconstruction des bâtiments est une condition nécessaire à la mise en place d'une économie circulaire dans les bâtiments, permettant de réduire le danger de mélange notamment entre les inertes et l'isolation thermique. En ce qui concerne ce sujet, il a été estimé qu'une déconstruction systématique pourrait conduire à une diminution des coûts moyens de mise en décharge (inertes) d'environ 23% et d'environ 22% des volumes grâce à la livraison de matériaux propres. La baisse pourrait atteindre jusqu'à 93% des coûts de mise en décharge, et d'environ 96% des volumes, si l'on suppose un recyclage complet du matériau inerte.

Il est souligné que la question de la déconstruction se présente comme le coût initial le plus important en vue d'une économie circulaire du bâtiment qui conduira à la valorisation des déchets de construction comme matière première et composants pour de nouveaux bâtiments. Des approfondissements futurs des prochaines étapes de l'économie circulaire des bâtiments permettront ensuite de compléter et d'étudier les coûts et les revenus en considérant les filières possibles de recyclage et de réemploi des matériaux.

ABSTRACT (DE)

Um eine Grössenordnung der möglichen Mehrkosten durch den Rückbau von Gebäuden zu ermitteln, wurde der Abriss verschiedener Gebäudetypen (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Schulen), die nach den aktuellen Wärmedämmstandards gebaut wurden, betrachtet. Es wurden zehn Szenarien unter Berücksichtigung von drei verschiedenen Gebäudenutzungen und vier Bautechnologien betrachtet.

Es wurde festgestellt, dass ein Abbruch durch Rückbau von jüngst isolierten Gebäuden **im Durchschnitt ca. 60 Prozent** mehr kosten könnte als ein konventioneller Abbruch nach dem heutigen Stand der Technik. Diese Kosten würden durch höhere Lohnkosten und zusätzliche temporäre Arbeiten verursacht.

Der Rückbau von Gebäuden ist eine notwendige Voraussetzung für die Einführung einer Kreislaufwirtschaft in Gebäuden, die es ermöglicht, die Gefahr der Vermischung insbesondere von inerten Materialien und Wärmedämmung zu verringern. In Bezug auf dieses Thema wurde geschätzt, dass im Falle eines vollständigen Recyclings von Zuschlagstoffen die Deponiekosten um schätzungsweise 23 % bis zu 93 % gesenkt würden. Die Volumenreduzierung würde zwischen 22 % und 96 % betragen.

Die Verringerung der Deponiekosten von Zuschlagstoffen durch das gereinigte Material würde zu einer durchschnittlichen **Reduzierung der Rückbaukosten um ca. 10 Prozent** führen.

Es wird hervorgehoben, dass der Rückbau im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft von Gebäuden zunächst höhere Kosten verursacht. Dies wird jedoch dazu führen, dass Bauabfälle als Rohmaterial und Komponenten für neue Gebäude wiederverwertet werden. In Zukunft wird es notwendig sein, die Kosten und Einnahmen unter Berücksichtigung der möglichen Recycling- und Wiederverwendungsketten von Materialien zu analysieren.

10.1 Introduzione

Al fine di determinare un ordine di grandezza dei possibili maggiori costi dovuti all'applicazione delle linee per la decostruzione degli edifici si è eseguita una stima di massima dei costi ipotizzando **la futura demolizione di diverse tipologie di edifici costruiti** secondo gli standard di isolamento termico attuale.

In seguito si sono analizzati i maggiori costi e si sono stimate le variazioni di materiale conferito in discarica a dipendenza dei diversi scenari.

La stima dei costi si riferisce alla situazione attuale in Ticino.

10.2 Metodologia

Si sono scelti 3 edifici recenti rappresentativi di destinazioni d'uso diverse realmente costruiti in Ticino. Si è ipotizzato che tali edifici sorgessero nella stessa Zona (Lugano) per considerare i costi di trasporto come invariati.

Si riportano di seguito i dati dimensionali principali:

Casa monofamiliare	S _p	295 m ²	V	932 m ³
Edificio plurifamiliare	S _p	1'205 m ²	V	5'385 m ³
Edificio scolastico	S _p	757 m ²	V	3'035 m ³

Successivamente per ciascun edificio, si sono calcolati i quantitativi di materiali contenuti negli edifici considerando che questi edifici venissero costruiti con diverse tecnologie costruttive.

In **ALLEGATO 3** si riporta il prospetto nel quale vengono riportate le tecnologie costruttive considerate in riferimento al Catalogo degli elementi costruttivi dell'Ufficio federale dell'energia e delle corrispondenti schede di decostruzione per lo smontaggio dei rispettivi elementi.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle diverse tecnologie costruttive considerate.

Costruzione Tradizionale (considerata solo per l'edificio monofamiliare)

Edificio a muratura mista non isolato con tetto e solette tradizionali in legno. Riscaldamento a radiatori.

Costruzione Massiccia il calcestruzzo armato

Edificio contemporaneo con involucro termico isolato di ca. 20 cm, con isolamenti termici e acustici in solette e pareti interne e tra unità d'uso. Struttura in calcestruzzo armato. Tripli vetri. Serpentine plastiche di riscaldamento nei betoncini.

Costruzione Massiccia in laterizio

Edificio contemporaneo con involucro termico isolato di ca. 20 cm, con isolamenti termici e acustici in solette e pareti interne e tra unità d'uso. Pareti in laterizio, solette in cemento armato. Tripli vetri. Serpentine plastiche di riscaldamento nei betoncini.

Costruzione Leggera intelaiata in legno

Edificio contemporaneo interamente isolato con involucro termico misto nella struttura in legno portante e isolamenti termici interposti in tutti le solette e partizioni interne.

Per ogni destinazione d'uso e per ciascuna tecnologia costruttiva si è determinata una **stima dei quantitativi in peso delle diverse categorie di rifiuti edili che risulterebbero dalla demolizione dell'edificio**.

Grazie al supporto dell'ing. Sergio Bibba, affermato consulente nell'ambito della demolizione degli edifici, la cui partecipazione è stata approvata dall'Ufficio Rifiuti e siti inquinati del Cantone Ticino, è stata eseguita una stima di massima dei costi di demolizione e conferimento dei diversi rifiuti edili a dipendenza delle diverse tecnologie per ciascuna tipologia di edificio e in relazione ad una demolizione convenzionale ed una controllata.

Si sono rivelate necessarie diverse assunzioni di calcolo, riportate nel capitolo 10.5.

In **ALLEGATO 3** e in **ALLEGATO 4 [omissis]** sono riportati i quantitativi di rifiuti in tonnellate e i relativi costi di demolizione per ciascuna tipologia di edificio e tecnica costruttiva considerando una demolizione selettiva convenzionale e una decostruzione.

10.3 Risultati

Dalle stime effettuate risulta un maggior costo medio (costi unitari, CHF/m³) per la demolizione di edifici recenti isolati del **63.7 %** rispetto ad una demolizione convenzionale secondo lo stato dell'arte attuale.

La differenza di costi è determinata considerando i **costi di conferimento costanti** cioè considerando la medesima qualità (pulita) e quantità dei rifiuti edili prodotti nel caso di demolizione convenzionale e decostruzione.

Lo scenario di demolizione tramite decostruzione della casa monofamiliare costruita con tecnologia tradizionale non isolata non viene considerato nella media in quanto viene riportato per informazione ma, non contenendo isolamenti termici, rappresenta un caso particolare.

Si raccomanda, per l'interpretazione dei dati, di tenere in considerazione le assunzioni di calcolo riportate nel capitolo 10.5.

TIPOLOGIE	COSTO DEMOLIZIONE	COSTI UNITARI	COSTO DECOSTRUZIONE	COSTI UNITARI DECO	VARIAZIONE COSTI UNITARI
	CHF	CHF/m ³	CHF	CHF/m ³	%
MONOFAMILIARE TRADIZIONALE	46'546.46	44.00	62'928.42	59.00	34.1%
MONOFAMILIARE MASSICCIA CLS	47'527.10	51.00	82'066.96	88.00	72.5%
MONOFAMILIARE MASSICCIA LATERIZIO	45'533.60	49.00	78'949.89	85.00	73.5%
MONOFAMILIARE LEGGERA LEGNO	48'972.53	53.00	80'154.82	86.00	62.3%
PLURIFAMILIARE MASSICCIA CLS	174'675.45	33.00	277'876.05	52.00	57.6%
PLURIFAMILIARE MASSICCIA LATERIZIO	169'438.60	32.00	271'380.17	51.00	59.4%
PLURIFAMILIARE LEGGERA LEGNO	169'090.53	32.00	275'800.58	51.00	59.4%
SCUOLA MASSICCIA CLS	137'959.46	46.00	221'345.22	73.00	58.7%
SCUOLA MASSICCIA LATERIZIO	125'228.59	41.00	204'417.59	67.00	63.4%
SCUOLA LEGGERA LEGNO	137'209.74	45.00	227'844.14	75.00	66.7%
				media	63.7%

Figura 51 Prospetto dei costi di demolizione e di decostruzione per ciascuno scenario. Variazione dei costi unitari.

Si sottolinea anche che, nel contesto di una stima di massima, **non si notano variazioni sostanziali in relazione a particolare tipologie di edifici o tecnologie di costruzione**. Si nota una tendenziale maggior costo di demolizione (sia convenzionale che di decostruzione) per l'edificio monofamiliare viste le sue minori dimensioni.

Si riportano in seguito gli istogrammi che visualizzano i costi di demolizione convenzionale e di decostruzione stimati per ogni tipologia di edificio e per ciascuna tecnologia costruttiva.

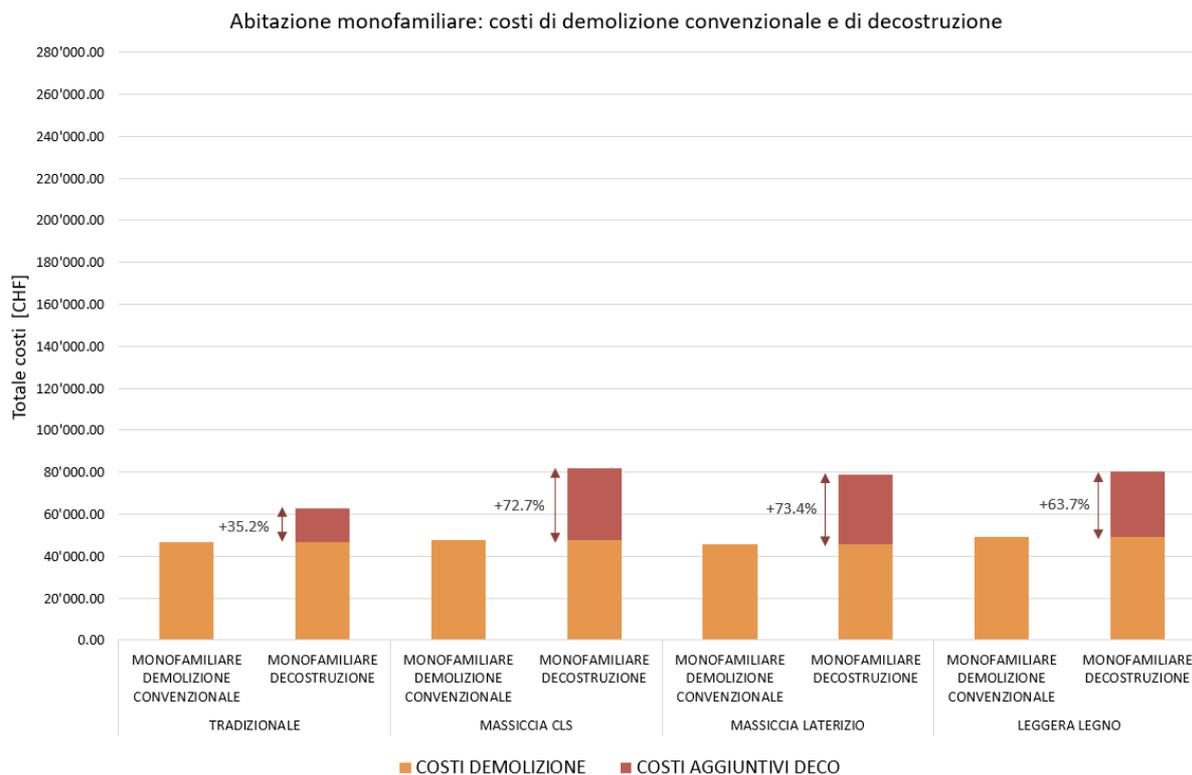


Figura 52 Abitazione monofamiliare, confronto dei costi di demolizione convenzionale e di decostruzione per diverse tecnologie costruttive.

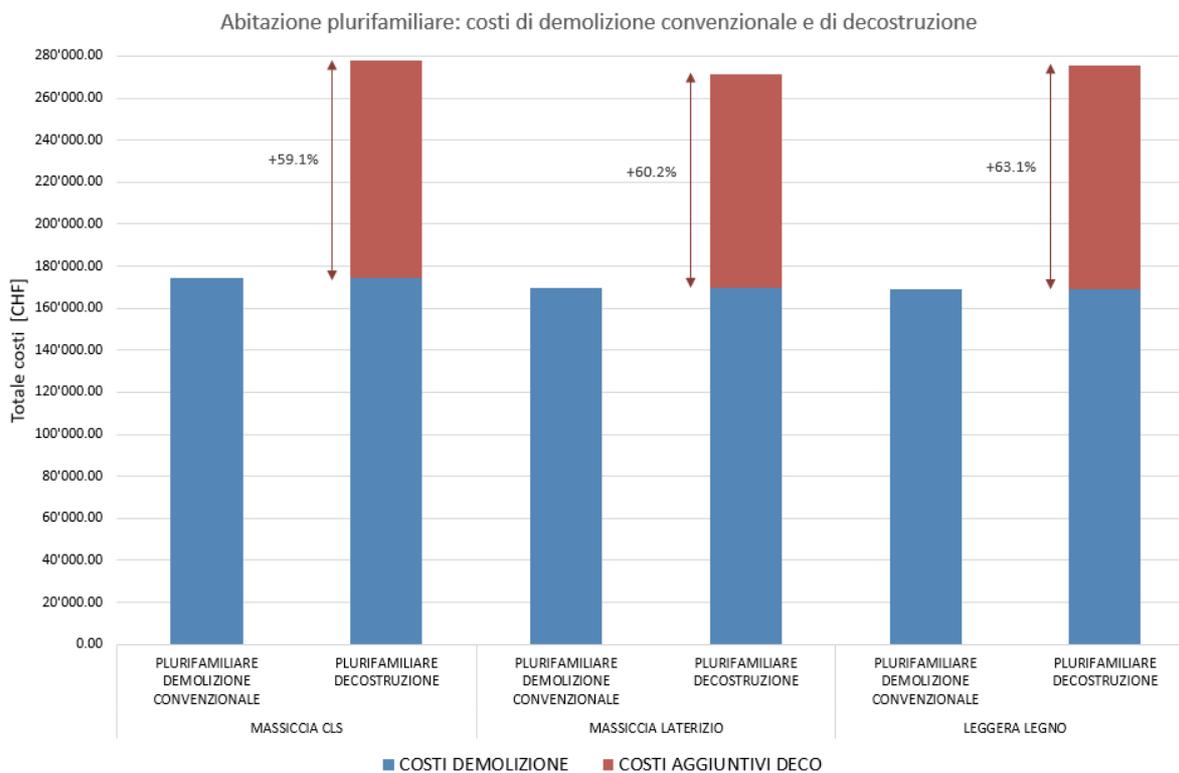


Figura 53 Abitazione plurifamiliare, confronto dei costi di demolizione convenzionale e di decostruzione per diverse tecnologie costruttive.

DeCO- Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti

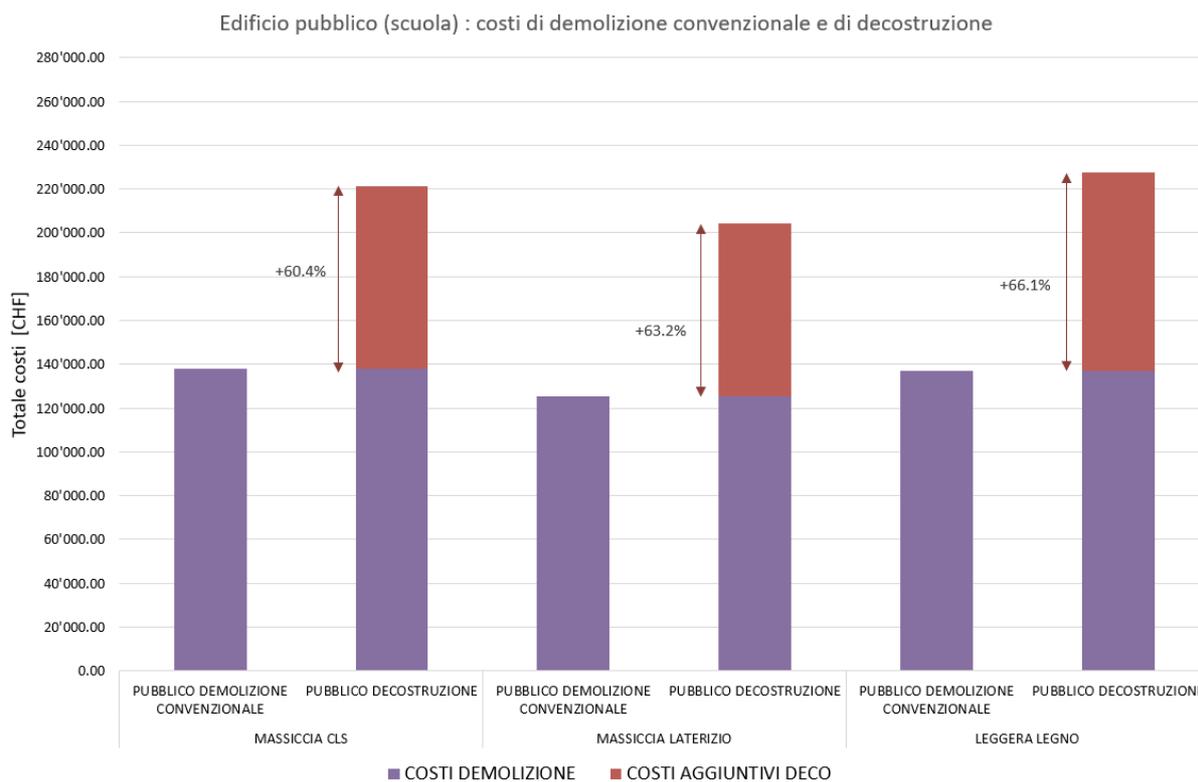


Figura 54 Edificio pubblico (scuola): confronto dei costi di demolizione convenzionale e di decostruzione per diverse tecnologie costruttive.

Quale ordine di grandezza, i maggiori costi sono composti principalmente dal costo aggiuntivo della manodopera (67%) e in seguito da costi di opere provvisionali aggiuntive (p.e. ponteggio per rimozione a mano dei cappotti) (29%) e lavorazioni aggiuntive (p.e. abbattimento polveri aggiuntive) (5%).

Composizione dei costi aggiuntivi di decostruzione

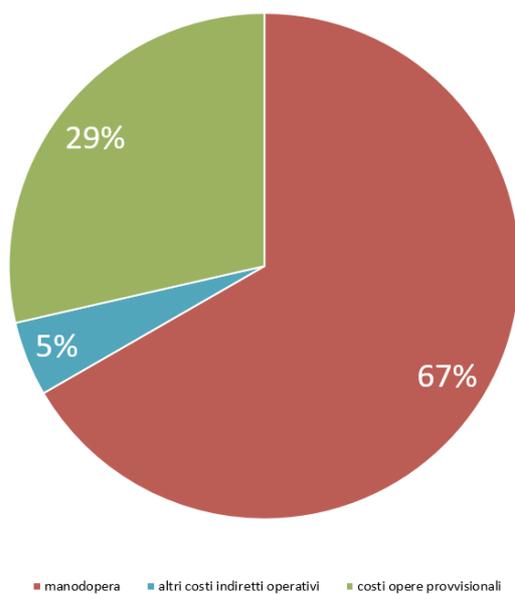


Figura 55 Stima della composizione media dei costi aggiuntivi per la decostruzione

10.4 Volumi di inerti conferiti in discarica

Successivamente alla stima dei costi si è effettuata una stima della possibile riduzione dei volumi di conferimento dei rifiuti edili inerti in discariche di tipo B considerando il fatto che le operazioni di demolizione tramite decostruzione porterebbero di principio all'ottenimento di materiali puliti che possono seguire filiere di riciclaggio/smaltimento comportando minori volumi conferiti e quindi un minore costo di conferimento in discarica.

Si è eseguita una stima di massima al fine di determinare l'ordine di grandezza della possibile diminuzione dei **volumi conferiti in discarica e dei minori costi di conferimento** per tutte le tipologie di edifici e tecnologie costruttive considerando i **seguenti 3 scenari**:

Scenario 0

L'edificio recente con importante presenza di isolamenti termici e acustici viene demolito tramite **demolizione convenzionale attuale**. Si assume che in questo caso una efficace separazione tra materiali inerti e isolamenti non sia possibile. Si assume di conseguenza **tutti i materiali isolanti siano miscelati con gli inerti**, in questo caso sicuramente gli inerti non verrebbero accettati per filiere di riciclo e quindi venga **tutto depositato in discarica** con una tariffa di rifiuto edile lievemente inquinato (**scenario peggiore – worst case**).

Scenario I

L'edificio recente con importante presenza di isolamenti termici e acustici viene **demolito tramite decostruzione**. Si assume che in questo caso una efficace separazione tra materiali inerti e isolamenti sia possibile e venga eseguita. In questo caso quindi tutto il volume degli isolamenti termici viene separato e inviato a riciclo o incenerimento e non viene miscelato con gli inerti che possono essere conferiti in discarica di tipo B con una tariffa di materiale da demolizione pulito (**scenario minimo**).

Scenario II

L'edificio recente con importante presenza di isolamenti termici e acustici viene **demolito tramite decostruzione**. Si assume che in questo caso una efficace separazione tra materiali inerti e isolamenti sia possibile e venga eseguita. In questo caso quindi tutto il volume degli isolamenti termici viene separato e inviato a riciclo o incenerimento e non viene miscelato con gli inerti che vengono accettati e inviati a filiere di riciclaggio. Gli inerti che vengono depositati in discarica sono solo quelli provenienti da strutture dove la separazione tra inerti e materiali plastici è particolarmente difficoltosa (p.e. betoncini con serpentine plastiche) (**scenario migliore – best case, economia circolare**).

Dalle stime effettuate risulta che demolire tramite decostruzione può portare almeno ad una separazione migliore dei rifiuti edili inerti puliti dagli isolanti con un **calo dei costi di conferimento in discarica medi di ca. il 23%** e dei **volumi di ca. il 22% (Scenario I)**.

Grazie alla decostruzione diventa anche possibile idealmente conferire completamente gli inerti al riciclaggio/riuso, in questo caso si è stimato un calo di ca. **il 93% dei possibili costi di discarica** e di **ca. il 96% dei volumi conferiti (Scenario II)**. Si rende attenti che il mancato conferimento in discarica comporta l'abbattimento dei costi di conferimento ma dovranno essere sostenuti in tutti i casi i rispettivi costi di trasporto e conferimento a centri di riciclaggio di inerti.

Si riportano di seguito i risultati in forma grafica.

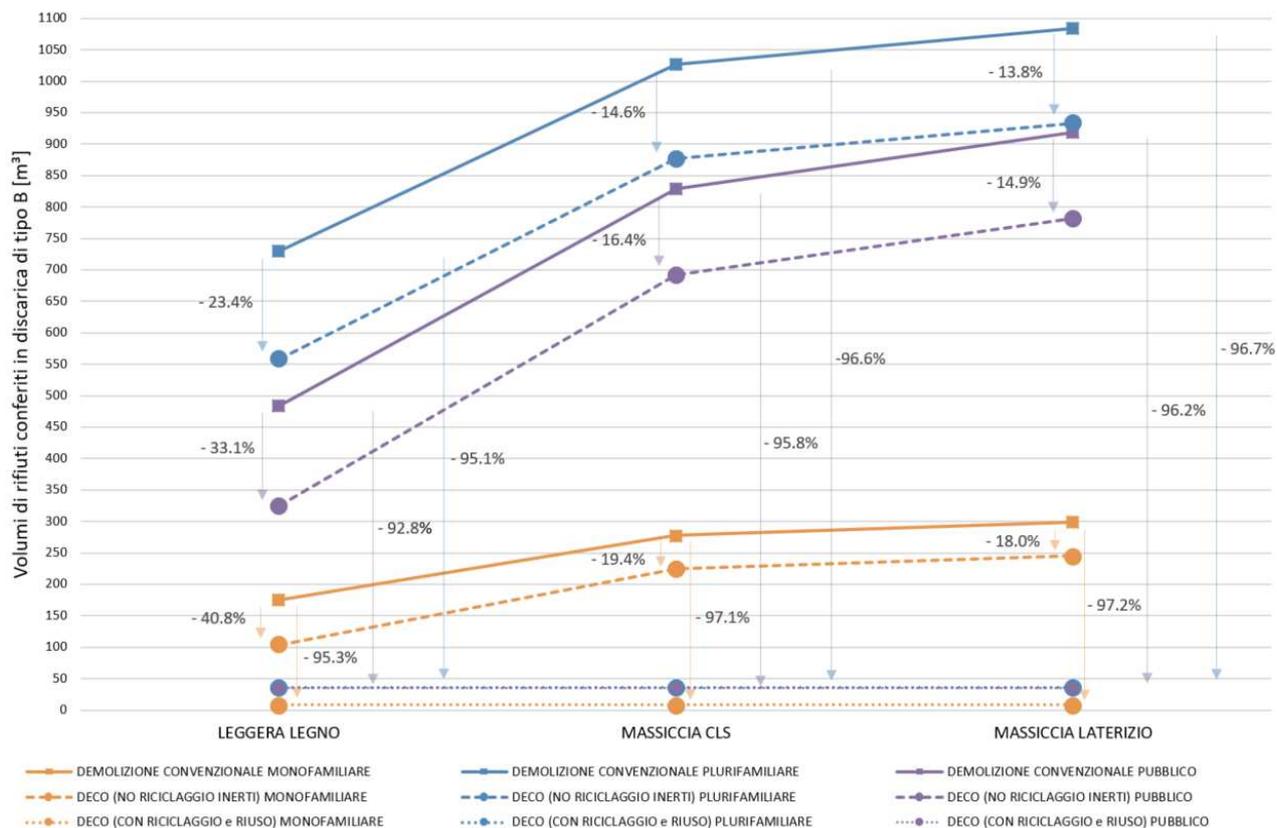


Figura 56 Volume di rifiuti conferiti in discarica per ciascuna tipologia di edificio (monofamiliare, plurifamiliare e edificio pubblico/scuola) e per ogni tecnologia costruttiva. **Scenario 0**: linea continua, **Scenario I**: tratteggiata, **Scenario II**: linea punteggiata.

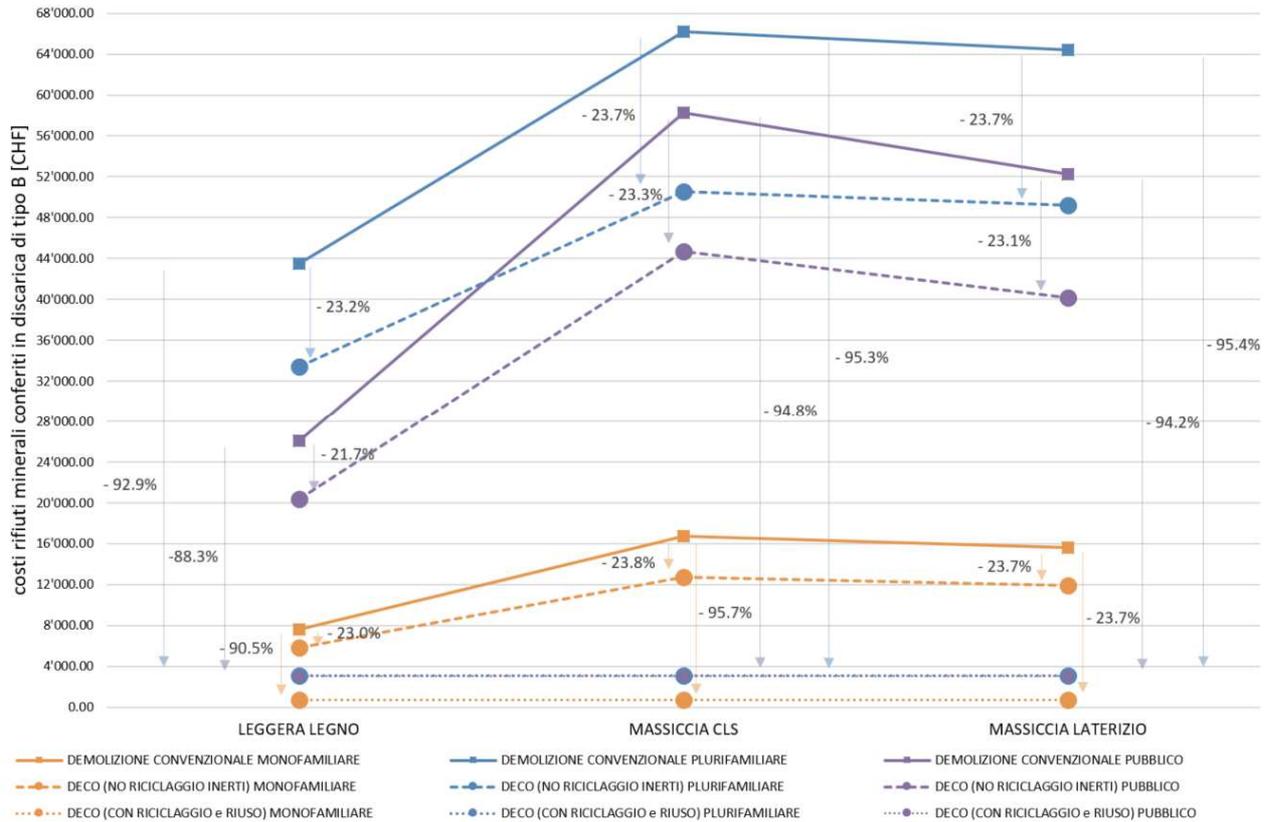


Figura 57 Stima dei costi di conferimento di inerti in discarica tipo B per ciascuna tipologia di edificio (monofamiliare, plurifamiliare e edificio pubblico/scuola) e per ogni tecnologia costruttiva. **Scenario 0:** linea continua, **Scenario I:** tratteggio. **Scenario II:** linea punteggiata.

Considerando gli scenari sopra riportati si sono ricalcolati i costi di demolizione e decostruzione rispettivi, cioè con l'ipotesi di inerti e isolamenti termici totalmente miscelati in caso di **demolizione convenzionale** di edifici recenti con maggiore volume e maggiore costo di conferimento in discariche come inerte lievemente inquinato (**Scenario 0**) e l'ipotesi di **decostruzione con inerti non inquinati e isolamenti termici separati**, non miscelati e volume non risultante in discarica (**Scenario I**).

Confrontando questi due scenari si nota come, **considerando una separazione e conferimento di inerti ottimale attraverso la decostruzione rispetto ad un conferimento potenzialmente non ottimale tramite una demolizione convenzionale di edifici recenti, il maggior costo medio per la decostruzione diminuirebbe di ca. il 10%, attestandosi a ca. il 53%.**

Si è considerata la differenza tra gli Scenari 0 e I in quanto si ritiene tale scenario come una situazione di conferimento/demolizione realistica già potenzialmente ottenibile oggi. Invece la fattibilità teorica di uno Scenario II è subordinata alla creazione di una filiera di economia circolare totale di tutti gli inerti non ancora presente in Ticino.

TIPOLOGIE	SCENARIO 0		SCENARIO 1		VARIAZIONE COSTI UNITARI
	COSTO DEMOLIZIONE	COSTI UNITARI TOTALI	COSTO DECOSTRUZIONE	COSTI UNITARI TOTALI	
	CHF	CHF/m ³	CHF	CHF/m ³	%
MONOFAMILIARE MASSICCIA CLS	51'039.24	55.00	81'167.68	87.00	58.2%
MONOFAMILIARE MASSICCIA LATERIZIO	48'883.18	52.00	78'191.71	84.00	61.5%
MONOFAMILIARE LEGGERA LEGNO	50'661.35	54.00	80'042.53	86.00	59.3%
PLURIFAMILIARE MASSICCIA CLS	188'957.68	35.00	274'747.52	51.00	45.7%
PLURIFAMILIARE MASSICCIA LATERIZIO	183'519.58	34.00	268'534.63	50.00	47.1%
PLURIFAMILIARE LEGGERA LEGNO	178'164.52	33.00	273'642.85	51.00	54.5%
SCUOLA MASSICCIA CLS	150'120.40	49.00	218'443.57	72.00	46.9%
SCUOLA MASSICCIA LATERIZIO	136'447.04	45.00	202'215.70	67.00	48.9%
SCUOLA LEGGERA LEGNO	142'204.41	47.00	220'553.20	73.00	55.3%
				media	53.0%

Figura 58 Prospetto dei costi di demolizione e di decostruzione per gli scenari di conferimento 0 (inerti miscelati e "sporchi") e I (inerti "puliti" e separati dagli isolamenti). Variazione dei costi unitari.

10.5 Assunzioni di calcolo

Per l'interpretazione dei risultati è necessario tenere in considerazione le seguenti assunzioni di calcolo e di approccio.

Si sono rese necessarie diverse assunzioni di calcolo vista la grande mutevolezza dei costi dovuta alle variazioni in base al luogo, al tempo, alle tecnologie impiegate e alla variazione dei costi di conferimento e alle discariche.

Ipotesi di calcolo:

- I costi di base si riferiscono ad una stima ad esperienza empirica ed in relazione alle tariffe attuali di conferimento in caso di una demolizione convenzionale eseguita considerando nei costi a tonnellate la manodopera, il trasporto e tasse/tariffe di conferimento odierni, benché in realtà si prevede che gli edifici isolati recenti verranno demoliti nel prossimo futuro;
- La differenza dei costi di base tra demolizione convenzionale e decostruzione è determinata a costi di conferimento costanti (capitolo 10.3), mentre successivamente si sono eseguite ipotesi limite per stimare gli ordini di grandezza di una variazione dei conferimenti in discarica e relativi costi (capitolo 10.4);
- I costi di demolizione convenzionale si basano sulla stima di tariffe di conferimento, di tempo e di manodopera attuali. Oggi la demolizione convenzionale degli edifici fa largo uso di meccanizzazione tramite pinze idrauliche e macchinari simili. In realtà si prevede che in tutti i casi, anche non attuando una decostruzione sistematica, i costi di manodopera e demolizione aumenteranno in caso di edifici isolati a causa della massiccia presenza di isolamenti termici che dovranno essere separati, almeno grossolanamente, pena ottenere dei rifiuti edili inerti completamente miscelati con altre categorie di rifiuti, compromettendo così anche la filiera di riciclaggio attuale.

10.6 Conclusioni

Al fine di stimare l'ordine di grandezza di un eventuale maggior costo dovuto alle operazioni di decostruzione degli edifici, si sono considerati 10 scenari, considerando 3 diverse destinazioni d'uso degli edifici e 4 tecnologie costruttive.

Si è giunti a determinare, quale ordine di grandezza, che una **demolizione tramite decostruzione** degli edifici recenti isolati potrebbe costare **mediamente il 60%** in più rispetto ad una demolizione convenzionale secondo lo stato dell'arte attuale. Tale costo sarebbe determinato da un maggior corso per la manodopera e per opere provvisoriale aggiuntive.

In realtà bisogna considerare che in tutti i casi, anche non attuando una decostruzione sistematica, i costi di manodopera e demolizione convenzionale aumenteranno in caso di edifici isolati a causa della massiccia presenza di isolamenti termici che dovranno essere separati, almeno grossolanamente, pena ottenere dei rifiuti edili inerti completamente miscelati con altre categorie di rifiuti, compromettendo così la filiera di riciclaggio e separazione attuale e aumentando notevolmente i conferimenti in discarica. Quindi si può assumere che la differenza di sovra costo reale futura potrà essere minore della stima effettuata.

La decostruzione degli edifici è una condizione necessaria per impostare una economia circolare negli edifici, permettendo di ridurre il pericolo di miscelazione soprattutto tra inerti e isolamenti termici. In merito a questo tema si è stimato che una decostruzione sistematica potrebbe portare ad un calo dei costi di conferimento in discarica (inerti) medi di ca. il 23% e dei volumi di ca. il 22% fino al 93% dei possibili costi di discarica e di ca. il 96% dei volumi conferiti se si ipotizza un riciclo completo del materiale inerte.

Considerando una riduzione dei costi di conferimento in discarica inerti, anche solamente dovuti al fatto che il materiale conferito sarebbe completamente pulito, potrebbe portare ad una **riduzione dei costi di decostruzione medi di ca. il 10 %**.

Si sottolinea che il tema della decostruzione si presenta come il maggior corso per la fase iniziale di demolizione di un edificio che, in un'ottica di una economia circolare degli edifici, porterà a valorizzare i rifiuti edili come materia prima e componenti per nuovi edifici.

Si auspica quindi il proseguimento dei concetti del progetto DeCO secondo i prossimi passi delineati nel capitolo 12, cioè approfondendo i successivi passi per una economia circolare. In questo modo sarà possibile completare la stima dei costi considerando e studiando le possibili filiere di riciclaggio e riuso che si rendono possibili a seguito della decostruzione degli edifici.

11 Conclusioni

Il Cantone Ticino con il contributo di 11 cantoni⁸³, dell'Ufficio federale dell'ambiente, della Società Svizzera Impresari Costruttori - Sezione Ticino, ha promosso e commissionato alla SUPSI lo studio *DeCO – Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti*. Tale studio ha portato allo sviluppo di **strumenti conoscitivi, pratici e di aiuto direttamente applicabili** per attuare delle pratiche di decostruzione degli edifici recenti che permetteranno di effettuare la necessaria separazione degli rifiuti edili, diminuire gli apporti in discarica, evitare le dispersioni in ambiente e porre le basi conoscitive e pratiche per attuare in prospettiva una reale transizione del mondo della costruzione verso un'economia circolare.

Lo studio fornisce le basi conoscitive, decisionali e gli strumenti per la gestione dei rifiuti del settore della costruzione. Questo progetto pone anche le basi pratiche e conoscitive per permettere alle aziende attive nel settore di effettuare una **innovazione tecnologica** con le conseguenti opportunità di sviluppo. Infine contribuisce a consolidare sul **territorio ticinese e svizzero le competenze e il know how nell'ambito dell'economia circolare nel mondo della costruzione**, tema di rilevanza mondiale. Ciò viene fatto con l'approccio pragmatico caratteristico del nostro Paese, cioè sviluppando strumenti pratici direttamente utilizzabili e approfittando, grazie alla ricerca applicata, di una ricaduta diretta e in tempi brevi di concetti sviluppati a livello teorico o accademico.

Il tema della **circularità del settore della costruzione** e dei relativi impatti sul consumo di risorse e la produzione di rifiuti è di **attualità e rilevanza** sia a livello nazionale che internazionale, si presuppone quindi che **questo studio pionieristico desterà interesse e apprezzamento oltre i confini cantonali e nazionali**.

Si auspica che vi sia la possibilità di **continuare il cammino intrapreso** con questo passo in merito alla decostruzione degli edifici affrontando le **successive sfide tematiche** per raggiungere una circolarità nel mondo della costruzione cioè i temi del potenziale di riuso degli elementi costruttivi, dell'uso di materiali riciclati e di upcycling e il tema di una progettazione a nuovo già pensata di un'ottica di adattamento, decostruzione e riuso dell'edificio nel tempo.

⁸³ Cantoni: Basilea Città, Berna, Friburgo, Ginevra, Svitto, Turgovia, Uri, Vallese, Vaud, Zugo, Zurigo

12 Prossimi passi

Il progetto *DeCO – Linee guida per la decostruzione degli edifici recenti* pone le **basi conoscitive e pratiche** per l'approcciare alla decostruzione degli edifici, condizione necessaria per il successivo corretto smaltimento, riuso e riciclaggio degli elementi della costruzione in **un'ottica di economia circolare**. Le conoscenze sviluppate nell'ambito della decostruzione dovranno portare in prospettiva a **delineare i requisiti progettuali a nuovo** in modo tale che la progettazione degli edifici in futuro tenga conto dell'esigenza di circolarità della costruzione e quindi non si presentino per le generazioni future i problemi che affrontiamo oggi con il patrimonio edilizio esistente.

Per quanto riguarda i **prossimi passi** si propongo i temi di studio e progetto che si basano su quanto sviluppato nel progetto DeCO e che mirano, seguendo fasi di approfondimento progressive, a raggiungere una economia circolare nella costruzione:

1. Determinazione del **potenziale di riuso degli elementi costruttivi** degli edifici pubblici. In quest'ottica si è stabilita una partnership con la Hochschule di Lucerna HSLU. Tale partnership permetterà di stimare sia il potenziale di riuso degli impianti degli edifici (HSLU) sia il potenziale di riuso degli elementi costruttivi (SUPSI).
2. Applicazione negli edifici di **materiali edili da recupero/riuso, riciclaggio, upcycling** proveniente da altre filiere produttive e di **materiali coltivati**
3. Delineare i **requisiti progettuali a nuovo per la progettazione per la decostruzione e l'economia circolare**.

ALLEGATO 3

PROGETTO DeCO: RIEPILOGO DEI CASI MODELLO E DEI SISTEMI COSTRUTTIVI CONSIDERATI AI FINI DELL'ANALISI COSTI

TIPOLOGIA EDILIZIA	COSTRUZIONE TRADIZIONALE	COSTRUZIONE CONTEMPORANEA					
		COSTRUZIONE MASSICCIA IN CALCESTRUZZO ARMATO		COSTRUZIONE MASSICCIA IN LATERIZIO		COSTRUZIONE LEGGERA IN LEGNO	
MONOFAMILIARE	X	X		X		X	
PLURIFAMILIARE (2 PIANI)		X		X		X	
PUBBLICA (SCUOLA)		X		X		X	
DESCRIZIONE TECNOLOGICA	COSTRUZIONE TRADIZIONALE	COSTRUZIONE CONTEMPORANEA					
		COSTRUZIONE MASSICCIA IN CALCESTRUZZO ARMATO		COSTRUZIONE MASSICCIA IN LATERIZIO		COSTRUZIONE LEGGERA IN LEGNO	
EDIFICIO	STRATIGRAFIA TIPO ELEMENTO COSTRUTTIVO*	STRATIGRAFIA TIPO ELEMENTO COSTRUTTIVO*	SCHEDA DI DECONSTRUZIONE	STRATIGRAFIA TIPO ELEMENTO COSTRUTTIVO*	SCHEDA DI DECONSTRUZIONE	STRATIGRAFIA TIPO ELEMENTO COSTRUTTIVO*	SCHEDA DI DECONSTRUZIONE
pareti	WS1 misto 40 cm	W4 (30 cm parete + 20 cm isolamento)	2.2.1	W1 (30 cm parete + 20 cm isolamento)	2.2.1	Wi 1 30 cm (isolamento lana minerale)	5.1
tetto	Dsi1	D 1 (20 cm soletta + 20 cm isolamento)	3.1.1	D 1 (20 cm soletta + 20 cm isolamento)	3.1.1	D 11 (30 cm isolamento lana minerale)	6.1
pavimenti verso esterno	Bsi4	B 3 (2 cm + 10 cm isolamento)	1.2.2	B 3 (2 cm + 20 cm isolamento)	1.2.2	D 8 (30 cm isolamento lana minerale)	4.1
solette interne	Bsi4	Bs3 (2 cm isolamento)	1.1.1	Bs3 (2 cm isolamento)	1.1.1	D 8 (10 cm isolamento lana minerale)	4.1
pareti interne	Ws26 tavolato	W11 (tra unità, 8 cotto + 8 isol + 8 cotto) Ws26 tavolato 8 cm (tra locali stessa unità)	2.3.2	W11 (tra unità, 8 cotto + 8 isol + 8 cotto) Ws26 tavolato 8 cm (tra locali stessa unità)	2.3.2	Wsi 5 (8 cm isolamento lana minerale)	5.1
finestre	legno + doppio vetro	PVC + triplo vetro		PVC + triplo vetro		legno + triplo vetro	
porte	legno	legno		legno		legno	
IMPIANTI	DESCRIZIONE	DESCRIZIONE		DESCRIZIONE		DESCRIZIONE	
produzione calore	caldaia olio	pompa di calore		pompa di calore		pompa di calore	
emissione calore	radiatori metallo	serpentine a pavimento		serpentine a pavimento		serpentine a pavimento	
ventilazione controllata	NO	SI		SI		SI	
pannelli fotovoltaici	NO	SI		SI		SI	

*I codici fanno riferimento alle stratigrafie tipo riportate nei Cataloghi degli elementi costruttivi forniti dal UFE