

-

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE
E IL TERRITORIO**

TESI DI LAUREA

in

Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie M

**IL RICICLO DEI RIFIUTI DA COSTRUZIONE E
DEMOLIZIONE PER UN'EDILIZIA
ECO-SOSTENIBILE**

Candidato:
Chiara Bertoli

Relatore:
Chia.ma Prof. Ing.
Alessandra Bonoli

Anno Accademico 2019 - 2020
Sessione I

ABSTRACT

Il riciclo di rifiuti da costruzione e demolizione rappresenta un importante tassello per la conduzione di un'economia circolare, dove il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto nel sistema economico il più a lungo possibile, minimizzando la produzione dei rifiuti.

La presente tesi offre una panoramica sugli aspetti ambientali, sociali ed economici connessi al riciclo e reimpiego di questa tipologia di rifiuti, mettendone in evidenza i vantaggi e gli svantaggi.

Sommario

1 INTRODUZIONE	7
2 IL RICICLO NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI	8
2.1 Il riciclo in edilizia oggi	8
2.2 CDW – I rifiuti da costruzione e demolizione	9
2.3 Literature review	10
2.4 Obiettivo della tesi	14
3 IL RICICLO NELLE FASI DEL PROCESSO EDILIZIO	15
3.1 Le fasi	15
3.1.1 La programmazione	18
3.1.2 La progettazione	18
3.1.3 La realizzazione	21
3.1.4 La gestione	22
3.1.5 La dismissione	25
3.1.6 La demolizione selettiva	26
3.2 The Building Life Cycle	27
4 QUADRO NORMATIVO	30
4.1 Direttiva 75/442/CEE	30
4.2 D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915	31
4.3 D.L. 5 febbraio 1997, n.22 (Decreto Ronchi)	32
4.4 D.M. 5 febbraio 1998	33
4.5 L. 28 dicembre 2001, n. 448	33
4.6 D.M. 8 maggio 2003, n.203	33
4.7 Circolare 15 luglio 2005, n.5205	34
4.8 D.L. 3 aprile 2006, n. 152	36
4.9 La marcatura CE	37
4.10 Direttiva 2008/98/CE	39
4.11 D.L. 3 dicembre 2010, n. 205	40
4.12 D.M. 11 ottobre 2017	41
4.13 Direttiva 2018/851/UE	43

4.14 Tabella riassuntiva del quadro normativo	44
5 LE CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	46
5.1 Le certificazioni ambientali e la centralità dei materiali riciclati	46
5.2 Le certificazioni italiane	46
5.2.1 Il protocollo ITACA	46
5.2.2 Protocollo ITACA, edifici residenziali e recupero di materiale riciclato	49
5.3 Le certificazioni internazionali	54
5.3.1 La certificazione LEED	54
5.3.2 La certificazione LEED e i materiali riciclati	56
5.4 Il protocollo Breeam	61
6 IL RICICLO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE	65
6.1 Materiali riciclati e il risparmio di risorse naturali	67
6.2 Materiali riciclati e il risparmio di energia e risorse idriche	73
6.3 Materiali riciclati e la riduzione delle emissioni di gas serra	74
6.4 Materiali riciclati e la riduzione di emissioni acustiche	78
6.5 Materiali riciclati e i possibili impatti sulla salute	80
6.6 Il riutilizzo di materiali e i possibili vantaggi economici	80
6.7 Materiali riciclati: i punti critici ancora da superare	83
6.8 Considerazioni generali: preferire una demolizione selettiva	86
6.9 Alcuni esempi di utilizzo in Italia di materiali riciclati in opere pubbliche	89
Conclusioni	93
Bibliografia	95
Sitografia	98

1. INTRODUZIONE

Da sempre, in maniera inconsapevole e non curante, l'uomo ha sfruttato, ogni anno, miliardi di tonnellate di risorse naturali per produrre beni di consumo e servizi. Solamente negli ultimi decenni, a fronte dei sempre maggiori stravolgimenti che vedono coinvolto il pianeta Terra e degli studi che hanno constatato che l'uomo consuma più risorse rispetto a quelle che la biosfera riesce a rigenerare, si è cercato di sensibilizzare la popolazione proprio sulla necessità di riflettere su ciò che sprechiamo e gettiamo via, sul riuso di materiali e oggetti per preservare il pianeta dal sovra sfruttamento.

Recentemente si sta verificando la transizione da un'economia che ha caratterizzato il nostro mercato per lungo tempo, che viene definita "economia lineare" e che prevede l'estrazione di materie prime, la produzione, la distribuzione, il consumo e lo smaltimento finale di un bene a una "economia circolare".

In una economia circolare il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto nel sistema economico il più a lungo possibile e la produzione di rifiuti è minimizzata. L'economia circolare si propone come un sistema economico pianificato per riutilizzare i materiali in successivi cicli produttivi allungandone la vita utile, con l'obiettivo di ridurre e se possibile, azzerare qualsiasi spreco. Come detto precedentemente, finora, l'economia ha funzionato con un modello "produzione-consumo-smaltimento", dove ogni prodotto era destinato ad arrivare a "fine vita". La transizione verso un'economia circolare sposta l'attenzione sul riutilizzare, aggiustare, rinnovare e riciclare i materiali e i prodotti esistenti: quel che normalmente veniva considerato un rifiuto può essere trasformato in "risorsa".

Questa ideologia si applica anche a quelli che vengono definiti materiali da costruzione e demolizione oppure materiali da decostruzione, dall'inglese CDW – Construction and Demolition Waste.

2 IL RICICLO NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

2.1 Il riciclo in edilizia oggi

Come detto precedentemente, il riciclo dei rifiuti edili è un tema al centro dell'attualità. Al momento, i rifiuti edili sono classificati come rifiuti speciali ovvero quei rifiuti che necessitano di particolari procedure di smaltimento e che generalmente derivano da particolari tipologie di attività. In particolare, la gestione dei rifiuti speciali avviene attraverso il recupero di materia, ovvero il riciclo e laddove questa pratica non possa essere messa in atto, si prosegue con lo smaltimento in discarica, incenerimento o recupero di energia.

Fanno parte dei rifiuti da costruzioni e demolizioni gli scarti delle lavorazioni di materiali e componenti, degli involucri e loro confezioni, i residui delle demolizioni, degli scavi inquinati da sostanze pericolose e dell'acqua di risulta dalle lavorazioni.

L'Unione Europea ha diffuso un protocollo per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, noto come "*EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines*", da recepire a livello comunitario, definendo un obiettivo comune da raggiungere entro il 2020 ovvero quello del riciclo dei rifiuti edili in una percentuale pari al 70%. Inoltre il protocollo propone di aumentare la fiducia verso il processo di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione e di ottenere materiali riciclati, derivanti da tali rifiuti, di qualità. Queste azioni saranno possibili mediante una migliore identificazione, separazione alla fonte e raccolta dei rifiuti; una miglior logistica e trattamento dei rifiuti; la gestione della qualità; le condizioni politiche e condizioni quadro adeguate.

Il loro smaltimento va eseguito seguendo le indicazioni fornite dalla normativa attuale vigente per quanto concerne i prodotti di scarto generati dai processi di costruzione e demolizione di un edificio, incaricando il soggetto che produce il rifiuto ad occuparsi dello smaltimento, ruolo riconosciuto in genere all'impresa o al singolo soggetto che esegue i lavori.

Idealmente, è stabilita una gerarchia di priorità che individua diverse soluzioni di smaltimento, partendo dalla più sostenibile alla meno sostenibile, per raggiungere il miglior risultato possibile con il minor impatto sull'ambiente. Tra le scelte a minor impatto ambientale c'è la riduzione, il riuso, il riciclo e il recupero dei rifiuti mentre

lo smaltimento in discarica rimane la scelta meno sostenibile per l'ambiente ma quella anche più privilegiata, per la semplicità di applicazione e di costo operativo.

2.2 CDW – Rifiuti da costruzione e demolizione

L'allegato B del Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione definisce i rifiuti da costruzione e demolizione come *“qualsiasi rifiuto generato durante le attività di imprese appartenente al settore delle costruzioni e incluso nella categoria 17”*. La categoria 17 comprende diverse classi tra cui:

- 17 01 – Cemento, mattoni, mattonelle e ceramica
- 17 02 – Legno, vetro e plastica
- 17 03 – Miscele bituminose, catrame di carbone e prodotti contenenti catrame
- 17 04 – Metalli (compresi le loro leghe)
- 17 06 – Materiali isolanti e materiali da costruzione contenenti amianto
- 17 08 – Materiali da costruzione a base di gesso
- 17 09 – Altri rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione

La categoria 17 fornisce i codici per i diversi singoli materiali che possono essere raccolti separatamente da un sito di costruzione e demolizione. Essa comprende i flussi di rifiuti derivanti dall'attività di costruzione, ristrutturazione e demolizione e hanno origine nei cantieri dove avvengono tali attività. Essendo classificati come rifiuti speciali, per il loro smaltimento, i CDW seguono precise fasi successive tra loro quali:

- a. Identificazione mediante analisi, per poter attribuire la corretta classe
- b. Raggruppamento nel deposito temporaneo, divisi per tipologia
- c. Trasporto in proprio o tramite terzi, verso le diverse destinazioni finali
- d. Recupero mediante procedura semplificata o procedura ordinaria
- e. Smaltimento in discarica

2.3 Literature Review

Diversi sono gli studi precedentemente realizzati sui rifiuti da costruzione e demolizione, come per esempio quello realizzato da *S. Ng et al. (2018)* che propone una panoramica sul recupero di materiali da costruzione e demolizione, ponendo particolare attenzione alla produzione di aggregati riciclati, le loro proprietà e la loro applicazione. *M. Martin – Morales et al. (2013)* hanno condotto uno studio sugli aggregati riciclati per la produzione di nuovo calcestruzzo, analizzando e confrontando gli standard e le linee guide di 16 differenti paesi al fine di determinare i criteri di qualità per le proprietà fisiche e meccaniche del calcestruzzo; analogamente *R. V. Silva et al. (2019)* realizzano un'analisi su una serie di casi studio condotti in diversi paesi in tutto il mondo, evidenziando la fattibilità e l'adeguatezza dell'utilizzo di aggregati riciclati in una vasta gamma di applicazioni edili. Uno studio circa la fattibilità di incorporazione di una frazione fine di aggregati provenienti da CDW nella fabbricazione di malte da muratura a base di cemento, basandosi su aggregati riciclati concreti, misti e ceramici, è stato condotto da *P. Saiz Martinenz et al. (2016)*. Alcuni studi riguardano gli impatti ambientali legati ai CDW: *P. Vitale et al (2017)* hanno condotto uno studio sui potenziali impatti ambientali legati alla fase di fine vita di un edificio residenziale, quantificando i contributi di ciascuna fase del fine vita ponendo particolare attenzione alla gestione dei rifiuti di demolizione ed evidenziando quanto la scelta di un'adeguata tecnica di demolizione selettiva e non tradizionale può aumentare la quantità e qualità di residui inviati al trattamento del recupero delle risorse e dello smaltimento sicuro mentre *A. Coelho et al. (2012)* hanno realizzato uno studio che quantifica gli impatti ambientali comparabili in una prospettiva di analisi del ciclo di vita, evidenziando come le operazioni di demolizione e seguente riciclaggio o riutilizzo portano evidenti benefici ambientali.

B. Galán et al. (2019) propongono una metodologia per studiare l'influenza della segregazione e dell'eterogeneità del flusso di CDW in ingresso e il livello tecnologico degli impianti di riciclaggio, sulla quantità e sulla composizione dei flussi di prodotti aggregati. I risultati ottenuti indicano che a bassi livelli di segregazione, gli impianti di riciclaggio di base possono raggiungere l'obiettivo minimo di recupero di risorse CDW non pericolose fissato al 70% prima del 2021 dall'Unione Europea.

M. Panizza et al. (2018) hanno valutato le miscele di geopolimeri di metakaolinite contenenti aggregati di calcestruzzo e argilla cotta dai rifiuti di costruzione e demolizione e dai risultati ottenuti si è visto che i geopolimeri contenenti CDW hanno

mostrato proprietà promettenti per l'utilizzo negli elementi costruttivi anche con il 50% di aggregati e oltre.

P. Villoria Sàez et al. (2019) hanno effettuato uno studio che proponeva di esaminare e confrontare la generazione di CDW in tutti gli stati membri dell'UE in correlazione con il rispettivo fatturato nazionale delle costruzioni, il prodotto interno lordo e il capitale, valutando inoltre il quadro politico e le prestazioni di recupero dei CDW di ogni stato membro rispetto all'obiettivo di recupero della direttiva quadro. I risultati mostrano che Austria, Germania, Paesi Bassi, Belgio e Francia sono risultati i maggiori produttori di CDW-TGC (CDW generati per "fatturato, PIL, capitale") mentre Croazia, Slovenia, Slovacchia, Polonia, Portogallo e Spagna sono risultati i più bassi.

G. Borghi et al. (2018) hanno applicato la metodologia di valutazione del ciclo di vita (LCA – Life Cycle Assessment) per valutare le prestazioni ambientali, nell'attuale contesto della gestione della regione Lombardia, dei materiali da costruzione e demolizione e identificare gli aspetti critici e le possibili azioni di miglioramento.

M. Contreras et al. (2016) hanno analizzato un caso studio in Brasile, dove i rifiuti da demolizione e costruzione vengono impiegati per la produzione di nuovi materiali da costruzione, in sostituzione dell'aggregato naturale per la produzione di mattoni. Dopo 21 giorni di indurimento sono stati sottoposti a test di compressione, mostrando una resistenza media superiore a 4 MPa quindi superiore rispetto agli standard. I risultati mostrano che è possibile produrre mattoni a basso costo con eccellenti proprietà fisiche usando CDW come aggregato e calce o cemento come additivo.

A. Ossa et al. (2016) hanno realizzato uno studio riguardante l'utilizzo di aggregati di CDW riciclati per creare miscele di asfalto per la realizzazione di strade asfaltate urbane. Sono stati condotti numerosi test per valutare la suscettibilità dei campioni di calcestruzzo di asfalto a danni di umidità e deformazione plastica. I risultati dei test di questo studio indicano che è possibile l'utilizzo di aggregati di rifiuti da costruzione e demolizione in percentuale fino al 20% per la pavimentazione di strade urbane.

M. Liikanen et al. (2019) hanno condotto uno studio sul contributo che le materie prime per i compositi di polimeri in legno (WPC – Wood Plastic Composit) possono dare per raggiungere l'obiettivo di recupero dei CDW in Finlandia. Nello specifico l'obiettivo di questa analisi è quello di valutare gli impatti ambientali della produzione di WPC usando specifiche frazioni di CDW, vale a dire legno, plastica, cartongesso e lana minerale, come materie prime, e di confrontare questi impatti con la situazione di base in cui queste frazioni di CDW sono trattate con metodi convenzionali. I risultati

indicano che, rispetto alla situazione di base, gli impatti ambientali della gestione dei CDW possono essere ridotti quando si utilizzano frazioni di CDW nella produzione di WPC.

A. Coelho et al. (2013) hanno realizzato uno studio che approfondisce gli aspetti tecnologici, economici e ambientali pertinenti alle strutture operative di riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione che producono aggregati di calcestruzzo riciclato di qualità medio-alta. Vengono discusse le condizioni di mercato e quelle economiche, concentrandosi sulla prospettiva dell'impianto di riciclaggio di CDW, nonché sulle conseguenze ambientali del suo funzionamento, in un approccio di valutazione del ciclo di vita.

M. Marzouk et al. (2014) valutano l'impatto di due alternative per la gestione dei CDW: il riciclaggio e lo smaltimento. La valutazione viene effettuata attraverso lo sviluppo di un modello dinamico con l'ausilio di un software, effettuando le seguenti fasi: la prima è quantificare il costo totale sostenuto per mitigare gli impatti delle discariche di CDW e dei rifiuti non raccolti sull'ambiente e sulla salute umana; la seconda è quantificare le emissioni totali evitate e risparmiare energia riciclando i rifiuti; la terza è stimare il costo esterno totale risparmiato dal riciclaggio dei rifiuti e la quarta è fornire uno strumento di supporto decisionale che aiuta a ripensare allo smaltimento dei rifiuti. I risultati della ricerca mostrano che il riciclaggio di CDW porta a riduzioni significative delle emissioni, del consumo di energia, del potenziale di riscaldamento globale (GWP) e conserva lo spazio delle discariche rispetto allo smaltimento dei rifiuti nelle discariche stesse.

A. Coelho et al. (2011) presentano uno studio che valuta le implicazioni economiche della demolizione tradizionale e della demolizione selettiva, analizzando un caso di studio in Portogallo. Vengono considerati alcuni scenari, basati su possibili opzioni di gestione dei rifiuti, alcuni dei quali favoriscono la demolizione selettiva rispetto a quella di tipo convenzionale.

José-Luis Gálvez-Martos (2018) scrivono un documento che sintetizza i principi fondamentali e collega le migliori pratiche per la gestione dei rifiuti di costruzione e demolizione attraverso l'intera catena del valore delle costruzioni. L'implementazione sistematica di queste migliori pratiche potrebbe migliorare drasticamente l'efficienza delle risorse e ridurre l'impatto ambientale: riducendo la generazione di rifiuti, minimizzando gli impatti sui trasporti, massimizzando il riutilizzo e il riciclaggio, migliorando la qualità dei materiali secondari e ottimizzando le prestazioni ambientali dei metodi di trattamento.

S. Jesus et al. (2019) hanno effettuato uno studio sul comportamento dei rendering cementizi che incorporano aggregati riciclati molto fini di due tipi di CDW. Come riempitivi sono state utilizzate solo particelle di aggregati riciclati inferiori a 0,149 mm, di seguito denominati aggregato di calcestruzzo riciclato (RCA) e aggregato riciclato misto (MRA). Le percentuali di incorporazione utilizzate erano 0%, 10%, 15% e 20% del volume degli aggregati naturali. Sono stati effettuati numerosi test, al fine di valutare le malte in termini di resistenza meccanica, lavorabilità, assorbimento d'acqua, instabilità dimensionale e permeabilità al vapore acqueo. I risultati del test hanno mostrato che le malte modificate avevano un comportamento migliore nella maggior parte dei test rispetto alla malta di riferimento (senza CDW). Le malte con incorporazione del 20% di RCA e 15% di MRA hanno presentato le migliori prestazioni.

2.4 Obiettivo della tesi

La tesi in oggetto propone di mettere in luce differenti aspetti legati al riciclo di materiali da costruzione e demolizione. Dopo aver contestualizzato e aver offerto una panoramica del quadro normativo che negli anni ha accompagnato l'evoluzione di questa tipologia di rifiuti, si sono indagati i vantaggi e gli svantaggi legati al loro riciclo, in particolare per quanto riguarda i rifiuti inerti, dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, presentando anche esempi concreti di loro applicazione in campo nazionale, emersi dalla letteratura disponibile.

3. IL RICICLO NELLE FASI DEL PROCESSO EDILIZIO

3.1 Le fasi

Possiamo definire l'edilizia come il complesso di azioni che porta alla costruzione di nuovi edifici e al recupero di quelli esistenti, al cambio di destinazione d'uso di un immobile, alla demolizione di antichi edifici e quant'altro porti una modifica sostanziale a ciò che è ad oggi esistente. Si tratta di un'attività estremamente complessa e varia, caratterizzata da un insieme di regole e norme relative al processo edilizio e al sistema edilizio. La norma UNI 10838, fornisce le definizioni per quanto riguarda questi ultimi termini: per processo edilizio si intende *“l'insieme delle fasi necessarie alla realizzazione di un'opera edilizia”* mentre per sistema edilizio si intende *“l'insieme delle parti che compongono un'opera edilizia”*. Il processo edilizio pertanto è identificato come una sequenza di fasi operative, organizzate tra loro, che partendo dall'individuazione delle esigenze dell'utenza giunge al loro soddisfacimento in termini progettuali ed esecutivi. Il processo edilizio prevede, quale fase iniziale necessaria all'avvio dei lavori, uno studio di fattibilità in termini tecnici ed economici. In un'ottica più ampia, è necessario individuare il rilevamento dei bisogni della committenza come primo momento del processo e la finale soluzione edilizia come conclusione. I lavori assumono peculiarità differenti, a seconda che si tratti di un'opera pubblica o privata, oppure di un'opera che veda la contemporanea partecipazione e collaborazione di committenza pubblica e privata; i ruoli dei vari operatori nel processo edilizio risultano fondamentali, così come fondamentali sono le modalità di svolgimento di tali ruoli e le relative connessioni. Lo sviluppo di un processo edilizio è fortemente condizionato dalle decisioni assunte nella fase di programmazione. La corretta definizione del quadro delle esigenze del committente, il livello di completezza delle analisi, l'esecuzione delle necessarie verifiche di fattibilità e la stesura del documento preliminare alla progettazione (il quale rappresenta l'anello di congiunzione tra la fase di programmazione e la fase di progettazione), risultano determinanti ai fini della corretta attuazione del processo edilizio.

L'attuale concetto moderno di processo edilizio tiene conto di una molteplicità di aspetti, tra cui:

- gli scenari economici che influenzano le attività di costruzione;
- la sperimentazione e la crescente richiesta di complessità prestazionale;

- l'aumento degli apporti specialistici necessari per la progettazione;
- il ruolo del committente;

Vengono così ad assumere fondamentale importanza la funzione di controllo e il compimento dei corretti passaggi tecnico-amministrativi; in quest'ottica si delinea il ruolo del responsabile del procedimento e si definisce la necessità di numerosi operatori specializzati, in funzione della tipologia di intervento.

Le attività da svolgere sono molteplici e diversificate, nella sequenza e nei contenuti, in relazione alle peculiarità dell'opera e alle soluzioni tecniche ideate per la sua realizzazione. Infine, l'esecuzione dei lavori non può prescindere dalla definizione di un aspetto gestionale, inerente la partecipazione alle gare di appalto per quanto riguarda gli edifici pubblici, o il ricorso a finanziamenti privati per la realizzazione e il mantenimento in esercizio del bene oggetto di intervento. Per questa serie di motivi, sono numerose le figure professionali coinvolte nella filiera di costruzione e gestione.

Nel processo edilizio si possono distinguere differenti fasi, caratterizzate da tempistiche, soggetti coinvolti ed azioni differenti:

- Programmazione (fase strategica);
- Progettazione (fase ideativa), suddivisa in:
 1. Progettazione architettonica;
 2. Progettazione economico-finanziaria;
- Realizzazione (fase esecutiva), suddivisa in:
 1. Progettazione operativa
 2. Esecuzione
- Gestione (fase d'uso, manutenzione e controllo);
- Dismissione (fase di demolizione / riuso / riciclaggio);

Ad inizio degli anni '60, in Italia, si è andata sempre più a svilupparsi un'attenzione verso il processo edilizio, che ha portato ad un'inevitabile evoluzione dei modi di costruire, a seguito della meccanizzazione del cantiere edile da un lato e alla produzione della componentistica in officina dall'altro. Questa evoluzione ha modificato i naturali rapporti tra le diverse fasi del processo, introducendo complessità via via maggiori.

Con l'avvento della meccanizzazione si è dovuto rendere solidali tra loro programmazione, progettazione, scelte tecnologiche ed attuative; nel tempo si è

delineata la consapevolezza che l'atto del costruire era caratterizzato da un complesso di fasi e operazioni strettamente legate tra di loro e la cui gestione non poteva più essere affidata agli operatori tradizionali ma bensì richiedeva un tipo di organizzazione di tipo specialistico ed industriale più sviluppato.

In quest'ottica si è resa necessaria l'elaborazione di strumenti scientifico-operativi volti alla programmazione, al controllo della qualità della progettazione e alla cura degli aspetti di realizzazione e gestione, attribuendo una particolare attenzione alle attività di management per mettere in atto gli interventi di edilizia programmata. Proprio da questo punto, si è sviluppata l'attenzione verso il *project management* e il *construction management* e l'indagine approfondita delle attività che si collocano a monte della scelta di costruire, oppure a tergo della costruzione.

La legge del 11 febbraio 1994, n. 109 e sue modifiche e integrazioni (conosciuta anche come legge Merloni, ad oggi abrogata e sostituita dal D.Lgs. n.163 del 2006 “*Codice dei contratti pubblici relativa a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE*”) hanno introdotto delle importanti innovazioni per quanto riguarda la normativa di opere pubbliche, in particolare per quanto riguarda l'articolazione della fase di progettazione, sia preliminare, che definitiva ed esecutiva, la ridefinizione di elaborati per ciascuno step e l'introduzione di nuovi ruoli e responsabilità.

Sono numerose le categorie di professionisti che concorrono alle varie fasi che caratterizzano il processo edilizio e le cui prestazioni possono essere richieste. Tra questi, in particolare, si ricordano gli ingegneri, gli architetti e gli urbanisti.

Nel dettaglio, i professionisti incaricati dalla committenza di redigere il progetto, quindi ingegneri e architetti, esplicano l'insieme di attività quali:

- trasformare le esigenze espresse dall'utenza in spazi e oggetti edilizi, mediante lo sviluppo di un'idea progettuale
- vigilare sull'esecuzione del progetto nelle varie fasi e successivamente, alla conservazione dell'oggetto edilizio
- svolgere l'attività come singoli, in forma associata oppure in forma autonoma o come dipendenti in gruppi interdisciplinari (architetti, ingegneri, strutturisti, urbanisti, impiantisti, urbanisti, impiantisti...)

3.1.1. La programmazione

A seguito dell'analisi delle necessità e della fattibilità dell'opera, in questa fase si definiscono gli obiettivi da raggiungere, anche in funzione delle risorse e degli strumenti tecnici ed economici di cui si dispone e delle condizioni specifiche dell'ambito insediativo in cui si opera. Lo studio di fattibilità ha assunto un'importanza paragonabile, se non maggiore, rispetto alla progettazione. La complessità del processo edilizio è identificabile con una serie di filiere che legano i ruoli e la successione di attività svolte dai diversi operatori, al prodotto finito. Questo va letto anche in un'ottica di prestazione, di costo e di vita utile della struttura. Due filiere che caratterizzano l'intero processo edilizio sono quelle della sostenibilità e della sicurezza, dalla programmazione al progetto, fino alla validazione e al collaudo finale dell'opera.

3.1.2 La progettazione

Per far fronte alla progettazione, la programmazione e la gestione degli interventi, è necessario definire in anticipo:

- gli obiettivi da raggiungere
- i mezzi disponibili
- le condizioni specifiche della zona e del contesto normativo in cui si opera

Per l'attività di progetto di un organismo edilizio è necessario conoscere le attività e i bisogni essenziali degli utenti, in quanto destinatari e fruitori dell'opera.

La partecipazione dell'utenza alla definizione del progetto avviene attraverso processi di partecipazione diretta oppure partecipazione delegata.

Gli utenti aventi un ruolo diretto pagano un prezzo, attraverso l'acquisto o la locazione, che consente loro di usufruire del bene mentre gli utenti aventi un ruolo indiretto pagano un prezzo, attraverso il versamento allo Stato di contributi fiscali, per la realizzazione di attrezzature pubbliche delle quali usufruiscono.

La progettazione di un organismo edilizio deve perseguire un approccio, essenziale - prestazionale, mirato al soddisfacimento dei criteri di funzionalità e sicurezza dell'organismo edilizio.

Si può definire il concetto di esigenza come un bisogno fondamentale di un individuo, legato all'adempimento di una determinata attività. Con il termine "prestazione" si indica il comportamento di un determinato componente o elemento edilizio all'atto dell'impiego, cioè in relazione ad un uso specifico. Il requisito infine è identificabile come la trasposizione in termini tecnici di un bisogno e operano l'unione tra le esigenze e le prestazioni, rispettivamente intese come domande e risposte funzionali alle esigenze di committenza. In questo caso, la norma UNI 8289 definisce sette classi fondamentali di esigenze, riportate anche in Fig. 1:

1. Sicurezza
2. Benessere
3. Fruibilità
4. Aspetto
5. Gestione
6. Integrabilità
7. Salvaguardia dell'ambiente

Classe esigenziale	Definizione
Sicurezza	Insieme delle condizioni relative all'incolumità degli utenti, nonché alla difesa e alla prevenzione di danni dipendenti da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema tecnico
Benessere	Insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute e allo svolgimento delle attività degli utenti.
Fruibilità	Insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio a essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività.
Aspetto	Insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti.
Gestione	Insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio.
Integrabilità	Insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro.
Salvaguardia dell'ambiente	Insieme delle condizioni relative al mantenimento e al miglioramento degli stati dei sovrasistemi di cui il sistema edilizio fa parte.

Tab.1 - Le classi di esigenza in ambito edile (www.sciencedirect.org)

Generalmente la progettazione è caratterizzata da fasi successive, come definito dalla Legge del 1994 n.109:

- **Metaprogetto** : in questa fase vengono definite le unità ambientali, gli elementi spaziali e le unità tecnologiche che interessano l'organismo edilizio. Le prime, le unità ambientali, corrispondono ad un raggruppamento di attività dell'utente, proveniente da una specifica destinazione d'uso del complesso edilizio e che tra loro sono compatibili sia spazialmente che temporaneamente. Per elementi spaziali si intendono le porzioni di spazio fruibile destinate allo svolgimento delle attività di una unità ambientale. Per il raggiungimento di prestazioni ambientali soddisfacenti è possibile definire il raggruppamento di funzioni che siano tra loro tecnologicamente compatibili. La fase del meta-progetto comprende anche una valutazione economica, che si basa su ciò che è stato finora definito a livello di sistema ambientale e tecnico e basato su criteri di ottimizzazione (il cosiddetto costo obiettivo di intervento).

- **Progetto preliminare**: indica le peculiarità qualitative e funzionali dei lavori, l'insieme delle esigenze da soddisfare e delle performance da fornire. E' composto da una relazione che illustra le scelte progettuali adottate alla luce delle valutazioni tecniche, ambientali e della prospettiva di riuso e al riciclaggio; inoltre contiene uno studio di fattibilità, schemi grafici e planimetria generale. In questa fase viene anche fornita una stima dei costi che il committente dovrà sostenere, presentata attraverso un computo metrico preliminare ed un quadro economico.

- **Progetto definitivo**: definisce i lavori da eseguire, nel rispetto delle necessità, delle norme, dei vincoli e delle prescrizioni stabilite nel progetto preliminare. Il progetto definitivo comprende tutti gli elementi necessari ai fini del rilascio delle autorizzazioni e approvazioni. E' costituito da un report descrittivo dei criteri usati per le scelte progettuali, nonché delle caratteristiche dei materiali selezionati, e mostra l'inserimento delle opere sull'area. In questa fase della progettazione rientrano: lo studio di impatto ambientale laddove previsto, i disegni generali descrittivi delle principali caratteristiche delle opere (in termini di superfici e volumi, fornendo quindi planimetrie, piante, sezioni e prospetti), gli studi e le osservazioni preliminari necessari ai calcoli delle strutture e degli impianti. Fanno parte del progetto definitivo anche il disciplinare descrittivo degli elementi tecnici ed economici previsti in progetto e il computo metrico estimativo.

- **Progetto esecutivo:** la fase di progettazione esecutiva determina nel dettaglio e in accordo con quanto previsto dal progetto definitivo, i lavori da realizzare ed il relativo costo preventivato; essa deve consentire che ogni elemento sia identificabile in morfologia, varietà, qualità, estensione e prezzo. La progettazione esecutiva è costituita da relazioni e calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti, elaborati grafici nelle scale adeguate (compresi gli eventuali particolari costruttivi), capitolato speciale di appalto (prestazionale e descrittivo), computo metrico estimativo definitivo ed elenco dei prezzi unitari.

Sulla base degli studi e delle ricerche compiute nelle fasi precedenti, approfondendo con indagini di dettaglio o di verifica delle ipotesi progettuali, viene stilato il progetto esecutivo; esso deve essere altresì corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera.

Un piano di manutenzione viene allegato al progetto esecutivo. Questo piano ha il compito di prevedere, pianificare e programmare, tenendo in considerazione differenti aspetti quali i documenti progettuali esecutivi e l'attività di manutenzione dell'intervento, con l'obiettivo di conservare nel tempo le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico. Fornisce inoltre un sistema che esegue ispezioni e interventi a intervalli temporali prestabiliti per gestire correttamente gli asset e i loro componenti per molti anni.

A seconda dell'importanza dell'intervento e della sua specificità, il piano di manutenzione assume pertanto contenuto differenziato ed è costituito da importanti documenti operativi quali il manuale d'uso, il manuale di manutenzione e il programma di manutenzione. E' compito del direttore dei lavori il controllo e la verifica di validità di questi documenti, che in corso d'opera possono essere eventualmente aggiornati qualora siano state apportate modifiche.

3.1.3 La realizzazione

Terminata la fase progettuale si procede con la realizzazione dell'opera ovvero anche detta costruzione. “*Costruzione*” fa parte di quel gruppo di termini che vengono impiegati comunemente nel linguaggio corrente, anche da parte degli addetti ai lavori.

La realizzazione dell'opera si concretizza nella scelta delle modalità di affidamento dei lavori, nella successiva selezione dei partecipanti alla gara, alla stipula del contratto, all'esecuzione e al termine dei lavori. In questa fase entrano in gioco molteplici figure

quali: il direttore dei lavori, il responsabile della sicurezza, l'impresa edile, il collaudatore. Le fasi esecutive vanno monitorate e controllate in itinere fino a giungere al collaudo e all'accettazione dell'opera da parte del committente.

Al momento del collaudo il committente, tramite la figura del collaudatore, accerta la conformità dell'opera alle prescrizioni progettuali e alle condizioni contrattuali, così da poter liquidare l'appaltatore o l'impresa costruttrice, liberandoli da ogni rapporto contrattuale. Il collaudo finale deve avvenire, generalmente, entro sei mesi dall'ultimazione dei lavori. Il D.M. del 14 gennaio 2008 stabilisce quali sono le tipologie differenti di collaudo: il collaudo tecnico - amministrativo, il collaudo statico ed il collaudo tecnico - funzionale.

Il collaudo tecnico – amministrativo è volto all'accertamento della rispondenza tecnica delle opere eseguite alle prescrizioni del progetto e del contratto e nella verifica tecnico-contabile delle misure delle opere e dei relativi prezzi applicati.

Il collaudo statico con riferimento alle parti dell'opera che svolgono funzione portante, viene svolto mediante le prove di carico, che hanno lo scopo di verificare la stabilità strutturale dell'opera costruita.

Il collaudo tecnico – funzionale degli impianti costituisce una parte del collaudo tecnico-amministrativo. Tutti gli impianti presenti e i materiali, in relazione alle diverse normative di riferimento, devono essere conformi al progetto approvato e alle prescrizioni capitolari. Per le opere pubbliche gli incarichi di collaudo tecnico-amministrativo sono affidati a tecnici liberi professionisti (ingegneri, architetti, geometri, periti edili), purché iscritti da almeno 10 anni negli Albi degli Ordini professionali per opere di importo superiore ad un milione di euro, mentre per importi inferiori o uguali ad un milione di euro la suddetta anzianità è ridotta a 5 anni, inoltre il collaudatore non può essere un professionista che ha progettato o diretto le medesime opere. Per le opere private non esistono disposizioni legislative in materia. Inoltre per opere fino a 500.000 euro il certificato di collaudo è sostituito dal certificato di regolare esecuzione (CRE), emesso, non oltre 3 mesi dalla fine dei lavori, dal direttore di lavori e confermato, entro 3 mesi dall'ultimazione dei lavori stessi, dal Responsabile Unico del Procedimento (R.U.P).

3.1.4. La gestione

Durante la fase di gestione, è possibile svolgere attività per mantenere la migliore fruibilità del lavoro. Gli impianti dovranno essere messi in esercizio in base alle

istruzioni contenute delle schede tecniche, monitorati e revisionati secondo scadenze stabilite. Ogni opera richiede manutenzione ordinaria e straordinaria.

La manutenzione ordinaria si riferisce a una serie di attività necessarie per mantenere il livello di prestazione degli elementi tecnici nel tempo secondo le istruzioni contenute nel piano di manutenzione. D'altra parte, la manutenzione straordinaria include le attività necessarie per ripristinare nel tempo il livello di prestazione degli elementi tecnici secondo le istruzioni contenute nel piano di manutenzione e il tempo determinato dalle procedure di gestione. Per alcune tipologie di opere è necessario considerare il recupero e/o il riuso, ovvero quelle attività di sostituzione parziale dell'opera in relazione al degrado funzionale irreversibile degli elementi costruttivi e/o a un cambio di destinazione d'uso.

Il lavoro di manutenzione edilizia, che in passato era legato al singolo evento, è oggi soggetto a programmazione con il fine di minimizzare i costi legati al mantenimento in efficienza dell'edificio. La manutenzione, anzi la manutenibilità, è uno dei requisiti progettuali che entrano in modo massiccio nella fase progettuale.

Ad evidenziare l'importanza di un attento approccio alla manutenzione edilizia hanno contribuito i contenuti dei dispositivi normativi vigenti più recenti, i quali richiedono, sia per fini prestazionali che economico – gestionali, che per le opere edilizie sia redatta una documentazione dei processi di manutenzione chiamata “piano di manutenzione edilizia dell'opera”. I dispositivi normativi che forniscono indicazioni circa questo aspetto della fase finale di gestione di un immobile sono:

- *Codice dei contratti pubblici*, D.lgs. del 12 aprile 2006 n. 163;
- *Nuovo regolamento attuativo del codice dei contratti pubblici*, D.P.R. del 5 ottobre 2010 n. 207;
- *Norme tecniche per le costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008;

L'introduzione del piano di manutenzione come documento progettuale della fase esecutiva è il segnale del mutato approccio che la legislatura intende mantenere nella esecuzione e gestione di un'opera pubblica.

È, dunque, richiesto ai progettisti non solo di considerare il soddisfacimento del bisogno dell'utenza, ma bensì di porre attenzione alla prospettiva che tale utenza possa fruire del bene anche in tempi successivi; ciò presuppone di valutare le scelte tecniche e progettuali in relazione alla manutenibilità dell'opera.

Questa richiesta prestazionale trova riscontro nell'art. 15 del D.P.R. del 2010 n.207:

Art. 15 Disposizioni preliminari per la progettazione dei lavori e norme tecniche

1. La progettazione ha come fine fondamentale la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, nel rispetto del miglior rapporto fra i benefici e i costi globali di costruzione, manutenzione e gestione. La progettazione è informata a principi di sostenibilità ambientale nel rispetto, tra l'altro, della minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e della massima manutenibilità, miglioramento del rendimento energetico, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità tecnica ed ambientale dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni dell'intervento nel tempo.

[...]

8. I progetti, con le necessarie differenziazioni, in relazione alla loro specificità e dimensione, sono redatti nel rispetto degli standard dimensionali e di costo ed in modo da assicurare il massimo rispetto e la piena compatibilità con le caratteristiche del contesto territoriale e ambientale in cui si colloca l'intervento, sia nella fase di costruzione che in sede di gestione.

[...]

10. I progetti sono redatti considerando anche il contesto in cui l'intervento si inserisce in modo che esso non pregiudichi l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e dei servizi esistenti.

[...]

11. I progetti devono essere redatti secondo criteri diretti a salvaguardare i lavoratori nella fase di costruzione e in quella di esercizio, gli utenti nella fase di esercizio e nonché la popolazione delle zone interessate dai fattori di rischio per la sicurezza e la salute.

Le richieste fatte dal legislatore ai progettisti, e, in opportuna forma di responsabilità, ai referenti dell'amministrazione appaltante sono estremamente esplicite e portano a concludere che il progetto deve portare ad un'opera che sia mantenibile, realizzata con materiali durabili e sub-sistemi sostituibili; il contesto territoriale non deve essere di ostacolo alla fase di gestione e manutenzione; le opere non devono arrecare pregiudizio della salute dei lavoratori nella fase di gestione, anche durante gli interventi di manutenzione programmata.

Al contrario di quanto comunemente si pensa, i costi iniziali di un'opera edilizia rappresentano solo una percentuale relativamente contenuta della spesa totale, se riferiti all'intero ciclo di vita; il resto è rappresentato dagli altri costi, tra cui quelli manutentivi; ecco perché una corretta progettazione e la previsione delle conseguenze che le scelte progettuali potrebbero avere sulla costruzione finale diventano fondamentali per minimizzare i successivi costi d'esercizio, manutentivi e di riparazione oppure sostituzione. Considerando attentamente i concetti specifici come quello di manutenibilità, al momento della progettazione sono stati apportati contributi in questa direzione.

La manutenibilità è caratteristica del progetto e la norma UNI 9910 la esprime come *“l'attitudine di un'entità, in certe condizioni d'uso, ad essere mantenuta o ripristinata in uno stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta, quando la manutenzione è effettuata in date condizioni e vengono adottate le procedure e le risorse prescritte”*.

La manutenibilità è una condizione necessaria ma insufficiente per ridurre al minimo i costi di manutenzione di un edificio; la pari o maggiore importanza nella vita utile dei prodotti da costruzione include anche la scelta tecnica e i metodi di costruzione, le modalità d'uso, le tecniche diagnostiche per il rilevamento delle esigenze manutentive, le strategie e le proposte di manutenzione per esigenze organizzative.

Pertanto, in ogni fase, il gestore del bene è inoltre garante dei risultati che le sue scelte e azioni generano sui costi di manutenzione.

L'ultimo passaggio della gestione è la demolizione, ovvero l'eliminazione definitiva dell'opera dovuta alla constatazione del degrado irreversibile della stessa.

3.1.5. La dismissione

In termini generali la dismissione definisce la fine dell'uso di un determinato bene non più adeguato o in grado di svolgere le attività per le quali è stato realizzato.

Nel campo dell'edilizia, la dismissione è la fase finale del ciclo di vita di una costruzione: questa include lo smontaggio o la demolizione dei componenti tecnici, il trasporto dall'edificio al luogo di stoccaggio e qualsiasi attività intrapresa per recuperare il flusso di materiale risultante. Recentemente si è riscontrato un crescente interesse per il controllo ambientale durante la fase di dismissione: ciò impone la scelta,

durante la fase di progettazione, di tecnologie che dovrebbero consentire una facile separazione degli elementi e un efficace riciclaggio dei residui al termine della fase operativa.

Anche in questa fase, che normalmente viene considerata come la fase finale del ciclo di vita dell'edificio, infatti può essere prestata attenzione al riciclo e al riuso dei materiali.

Nei casi di demolizione e ricostruzione bisogna prediligere la demolizione selettiva alla demolizione tradizionale.

3.1.6 La demolizione selettiva

La demolizione selettiva è una modalità di demolizione che consente la separazione dei rifiuti in frazioni omogenee e ne permette il recupero, andando ad incrementare il riciclo di quei materiali che fino ad ora erano destinati ad essere smaltiti in discarica. I prodotti della demolizione selettiva possono essere reimpiegati tali e quali oppure possono essere riutilizzabili con funzioni differenti da quelle originarie.

È applicabile anche alle materie prime seconde che possono essere riutilizzate come materiali uguali a quelli d'origine, precedentemente sottoposti a processo di trattamento ma con diversa forma oppure ruolo, o ancora per materie prime seconde diverse dai materiali d'origine per forma e funzione e reimpiegabili dopo un processo di trattamento come materiale diverso da quello d'origine.

Ad oggi la demolizione selettiva trova scarso impiego per diversi motivi : primo fra tutti è la mentalità con cui fino ad oggi si è operato, nel poco interesse delle problematiche ambientali, ma che ad oggi non possono più essere ignorate; di fatti la scelta di operare una demolizione selettiva trova consenso all'interno di un'economia circolare, non più volta all'eliminazione di un rifiuto al termine della sua vita utile ma bensì volta a donargli nuova vita e nuovo impiego. In questo, la demolizione selettiva rappresenta un grandissimo passo avanti per quanto riguarda il settore dell'edilizia, con una notevole riduzione dei rifiuti da destinare alla discarica così come minori costi relativi al trasporto e smaltimento. Ma operare in questo modo comporta anche un elevato dispendio di manodopera e tempo, oltre che alla necessità di far ricorso all'uso di macchine e attrezzature specializzate e proprio per questi motivi la demolizione selettiva rimane una scelta preferita da pochi.

Generalmente, la demolizione selettiva consente di suddividere i rifiuti in:

- ferro e metalli
- vetro
- legno
- plastica
- rifiuti di natura lapidea

A conclusione della fase di dismissione, il progettista deve presentare un'analisi contenente i Criteri Ambientali Minimi (CAM) volta a definire i requisiti ambientali per individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, e deve redigere altresì un'analisi preliminare in merito alla durata prestazionale dei componenti. Infine, allo scopo di ridurre l'impatto ambientale dell'edificio o insediamento nella fase di uso, è opportuno che il progettista definisca anche i principali criteri e modalità per la conduzione e conservazione dei componenti edilizi.

3.2 The Building Life Cycle

Operando in un contesto sempre più attento al tema della sostenibilità ambientale, negli ultimi anni ha trovato largo impiego quello che viene definito Life Cycle Assessment (LCA) ovvero una metodologia analitica e sistematica che valuta l'influenza sotto un punto di vista ambientale di un prodotto o di un servizio, prendendo in considerazione il suo intero ciclo di vita. Questo metodo consiste nel valutare l'impronta ambientale di un prodotto, considerando qualsiasi aspetto che riguardi la sua vita, partendo dalle fasi di estrazione delle materie prime, alla fabbricazione, alla fornitura, all'uso e alla dismissione finale, riportando i valori di impatto ambientali associati correlati al suo ciclo di vita. Attualmente la valutazione del ciclo di vita è normata dalla famiglia delle ISO 14040 e il *Life Cycle Assessment* costituisce il metodo scientificamente riconosciuto di valutazione quantitativa dei danni ambientali attribuibili ad un prodotto o ad un servizio.

I passaggi fondamentali per lo sviluppo della procedura sono quattro:

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (*Goal and Scope Definition* – ISO 14041);
2. Analisi di inventario del ciclo di vita (*Life Cycle Inventory Analysis* – ISO 14041);

3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (*Life Cycle Impact Assessment* – ISO14042);
4. Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation* – ISO 14043)

Così come per un prodotto o servizio, l'analisi del ciclo di vita può essere applicata anche agli edifici, prendendo in considerazione tutte le fasi che vanno dalla nascita di un'opera fino al termine della sua vita utile, al fine di calcolarne i relativi costi e l'impatto ambientale di tali attività.

Nello specifico, di esso fanno parte le fasi della programmazione, della progettazione, della realizzazione, della conduzione del bene e della sua manutenzione, riqualificazione o dismissione; la dismissione è la fase che presenta una maggior rilevanza sui costi totali dell'opera. È facile intuire quanto sia importante condurre una valutazione dei costi in tutte le fasi che caratterizzano il ciclo di vita di un edificio il più accurata possibile; difatti rappresenta uno degli strumenti più applicati per valutare il livello di convenienza e sostenibilità economica degli investimenti destinati alla gestione degli immobili. Si può concludere direttamente che più affidabile è la definizione di opzioni di gestione patrimoniale immobiliare basate su questi parametri di sostenibilità, maggiore è la probabilità di ottimizzare le risorse disponibili in base ai dati e ai metodi più affidabili che forniscono in questo modo dati sistematici e ordinati. Il ciclo di vita di un prodotto ha inizio con l'estrazione di risorse naturali e la produzione di energia; le sostanze e l'energia appartengono alle fasi di produzione, trasporto e utilizzo così come la fase di recupero, riutilizzo o smaltimento. Utilizzare l'approccio *life cycle* significa bilanciare e definire gli impatti ambientali, economici e sociali positivi definendo i rischi ambientali e le opportunità di prodotto, riconoscendo in tal modo il danno o i potenziali rischi ambientali che si verificano in ogni fase.

Inoltre consente di evitare che scelte costruttive, o ancor prima progettuali, che attenuano un determinato impatto ambientale provochino altri danni ambientali in maniera imprevista e inaspettata, causando uno shift dei problemi da una fase all'altra del ciclo di vita o da una tipologia di impatto a un'altra. A oggi tale metodologia ha trovato numerose applicazioni in edilizia. È stato utilizzato come metodo di base per la definizione di standard per l'assegnazione di marchi di qualità ecologica ai materiali da costruzione, per lo sviluppo di un database ambientale di materiali e componenti per l'edilizia e per il supporto alla definizione di metodi per la valutazione della compatibilità ecologica dei prodotti da costruzione

Sono numerosi gli strumenti di valutazione della compatibilità ambientale degli edifici sviluppati con approccio life cycle. Possono essere articolati secondo due categorie principali:

- metodi che lavorano aggregando i risultati di studi LCA sviluppati su materiali e componenti edilizi comprendendo la valutazione delle energie necessarie al funzionamento degli edifici;
- metodi che utilizzano un approccio LCA per valutare qualitativamente le prestazioni ambientali degli edifici assegnando un punteggio e includendo la selezione di determinate strategie progettuali nei criteri di valutazione;

La prima categoria comprende software che possono valutare quantitativamente l'impatto ambientale degli edifici riassumendo i contributi dei diversi componenti dei materiali dell'edificio stesso

La seconda categoria si riferisce a un sistema di valutazione che normalmente è costruito sulla base di una lista di controllo, che tiene conto di una serie di indicatori ambientali definiti e può classificare gli edifici esistenti o in fase di progettazione in base alla scala ambientale delle prestazioni di qualità, fornendo così un marchio di qualità ecologica.

4. IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Ora, analizziamo il processo di formazione della legislazione relativa ai materiali inerti riciclati. A partire dalle linee guida del diritto comunitario europeo, vedremo l'evoluzione delle leggi nazionali dagli anni '70, il cambiamento di atteggiamento verso tali materiali e gli obiettivi richiesti per lo sviluppo sostenibile e una corretta gestione di questi rifiuti che in un secondo momento diventano risorse.

4.1 Direttiva 75/442/CEE

Con la Direttiva CEE n.75/442 per la prima volta viene affrontata la regolamentazione della tematica ambientale legata al controllo dei rifiuti urbani a livello europeo.

Lo scopo della direttiva europea è quello di uniformare le disposizioni sullo smaltimento dei rifiuti nei diversi stati membri; questo al fine di eliminare diseguglianze potenzialmente impattanti sul mercato comune.

Gli obiettivi di questa prima regolamentazione mirano alla protezione della salute e del territorio contro gli effetti insalubri della raccolta, della distribuzione, della lavorazione e dell'accumulo dei rifiuti. Già in questo testo viene più volte ribadita l'importanza di incoraggiare il reinserimento dei rifiuti e l'utilizzazione dei materiali di recupero. A tal fine viene introdotto un sistema d'autorizzazione per le imprese che prendono l'incarico di trattare, ammassare o depositare rifiuti per conto d'altri e norme per la sorveglianza delle imprese che smaltiscono i propri rifiuti, basando ogni intervento sul principio "*chi inquina paga*".

Gli stati membri sono tenuti ad adottare le misure appropriate, soprattutto attraverso lo sviluppo di tecnologie pulite, per promuovere la prevenzione o la riduzione della generazione e della nocività dei rifiuti; lo sviluppo tecnico e l'immissione di prodotti sul mercato progettati per ridurre la quantità o il danno prodotto dai rifiuti e i rischi di inquinamento e lo sviluppo di tecnologie appropriate per eliminare le sostanze pericolose contenute nei rifiuti destinati al riciclo. Attraverso il riciclaggio, il riutilizzo o qualsiasi altra azione finalizzata all'ottenimento di materie prime secondarie e al riciclaggio dei rifiuti utilizzando i rifiuti come energia si operano strategie da adottare.

La Comunità Europea richiede che gli stati membri designino le autorità competenti incaricate di porre in atto le disposizioni della direttiva. Questi dovranno sviluppare uno o più piani di gestione dei rifiuti, tra cui: il tipo, la quantità e la fonte dei rifiuti da

riciclare o smaltire; alcuni requisiti tecnici generali; i regolamenti speciali per tutti i rifiuti speciali; i siti o le strutture di smaltimento adeguati.

Ogni detentore di rifiuti deve consegnarlo a un raccoglitore pubblico o privato, oppure a una società che effettua operazioni di smaltimento o riciclaggio. Il detentore che consegna i rifiuti al raccoglitore è responsabile del costo dello smaltimento degli stessi.

Nell'allegato II B della legge sono esplicitate una serie di operazioni di recupero quali:

- Recupero o rigenerazione dei solventi
- Riciclo o recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi
- Riciclo o recupero dei metalli o dei composti metallici
- Riciclo o recupero di altre sostanze inorganiche
- Rigenerazione degli acidi o delle basi
- Recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti
- Recupero dei prodotti provenienti dai catalizzatori
- Rigenerazione o altri reimpieghi degli oli
- Utilizzazione principale come combustibile o altro mezzo per produrre energia
 - Spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia, comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche

L'ordinamento giuridico italiano ha soddisfatto tale direttiva con il D.P.R. del 10 settembre 1982 n. 915, che ha gettato le basi per affrontare i principi generali della materia anche a livello nazionale.

4.2 D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915

Il recupero e il trasporto dei rifiuti solidi urbani sono stati regolati nel nostro paese dal D.L. del 20 Marzo 1941 n.366, inerente tematiche igieniche e di decoro urbano. La nuova legge del 1982, in attuazione della direttiva europea 75/442, non introduce modernità sostanziali rispetto alla precedente, trattando i rifiuti esclusivamente ai fini dello smaltimento, senza entrare nello specifico sui processi di prevenzione e recupero. Viene compiuta una prima distinzione tra rifiuti urbani, speciali e tossico-nocivi. I

materiali inerti provenienti da demolizioni, costruzioni e scavi sono compresi tra i rifiuti speciali.

Tra le competenze dello stato è comunque affidata l'adozione di norme favorevoli al recupero delle materie riutilizzabili, promuovendo studi e ricerche. Anche alle singole regioni spetta l'adozione di iniziative volte a limitare le formazioni dei rifiuti, favorendo il riciclo o la riutilizzazione degli stessi.

Vengono infine favorite agevolazioni creditizie per le imprese industriali e cooperative che metteranno in atto interventi di ammodernamento destinati al recupero, il riciclo, la riutilizzazione e la rigenerazione dei rifiuti.

4.3 D.L. 5 febbraio 1997, n.22 (Decreto Ronchi)

Se la legislazione italiana sui rifiuti prima del 1997 era principalmente formulata per contenere le emergenze ambientali, il "Decreto Ronchi" costituiva il primo quadro organico per la legislazione in questo settore. Lo scopo è prevenire e ridurre la generazione di rifiuti, valorizzare i rifiuti attraverso il recupero, ridurre la quantità di rifiuti smaltiti in discarica e aumentare la quantità di raccolta differenziata per garantire un riciclaggio di alta qualità.

Pertanto, è stato introdotto un concetto più ampio di gestione dei rifiuti, comprese tutte le operazioni correlate, come la raccolta, il trasporto e il riciclaggio, superando così il decreto precedente, che ha solo approfondito il percorso di smaltimento e è diventato la fase residuale della gestione nel nuovo testo. Viene introdotto l'uso del M.U.D. (Modello Unico di Dichiarazione) con il quale il produttore deve dare annualmente comunicazione circa le quantità e le peculiarità qualitative dei rifiuti prodotti.

Le condizioni e le norme tecniche relative a ciascuna attività, in particolare per i rifiuti non pericolosi, forniscono i requisiti necessari per garantire che in termini di tipo o quantità di rifiuti e metodo di riciclaggio, nessuna procedura sia potenzialmente dannosa per l'ambiente e senza usare metodi che mettono in pericolo la salute umana. È previsto l'adozione di misure economiche e la determinazione delle condizioni di approvvigionamento al fine di utilizzare materiali recuperati dai rifiuti per promuovere il mercato dei materiali stessi.

4.4 D.M. 05 febbraio 1998

Il decreto fornisce standard tecnici generali, che determinano le tipologie e la raccolta di rifiuti non pericolosi, i tipi di ciascun rifiuto e per ogni attività e metodo di riciclaggio, le condizioni specifiche per lo svolgimento di tali attività., conformemente agli articoli 31 e 33 del Decreto Ronchi. Le attività di recupero che prevedono l'utilizzo di rifiuti, sono sottoposte a procedure più agevolate, a condizione che gli stessi non risultino pericolosi; inoltre l'utilizzo deve essere regolato da un apposito progetto precedentemente approvato da un'autorità competente e deve essere effettuato contestualmente alle norme tecniche vigenti nel rispetto delle condizioni apposite previste dal decreto per la singola tipologia di rifiuto utilizzato.

I tipi di rifiuti considerati coinvolgono mattoni, intonaco e conglomerati di cemento armato e non armato, comprese le traverse, i binari ferroviari, i pali in calcestruzzo armato di linee ferroviarie, telematica ed elettriche, materiali inerti e persino materiale ceramico, frazioni di metallo, legno, plastica, carta e isolanti, escluso l'amianto.

Tra le attività di recupero viene regolamentata la messa in riserva di rifiuti inerti per la produzione di materie prime secondarie per l'edilizia, attuando fasi meccaniche e tecnologicamente interconnesse tra loro di macinazione e di vagliatura, operando una selezione granulometrica e una separazione della frazione metallica e delle frazioni indesiderate per l'ottenimento di frazioni inerti di natura lapidea a granulometria idonea e selezionata. Il materiale di recupero trova largo impiego nella realizzazione di rilevati e sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali e anche di piazzali industriali.

4.5 L. 28 dicembre 2001, n. 448

Nell'articolo 52 comma 56 della "Finanziaria" del 2002, viene posta modifica all'articolo 19 comma 4 del Decreto Ronchi, prevedendo che entro il 31 marzo 2002 le regioni, sulla base delle metodologie di calcolo e della definizione di materiale, adottino le disposizioni occorrenti affinché gli uffici, gli enti pubblici e le società a prevalente capitale pubblico, anche di gestione dei servizi, coprano il fabbisogno annuale dei manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato non inferiore al 30% del fabbisogno medesimo.

4.6 D.M. 8 maggio 2003 n.203

Con questo decreto viene realizzato un passo in avanti ulteriore nell'ottica della valorizzazione dei prodotti da riciclo; infatti il decreto impone alle Pubbliche

Amministrazioni di soddisfare il proprio fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota non inferiore al 30% di prodotti ottenuti con materiale riciclato. L'iniziativa di introdurre questo obbligo nasce con la Finanziaria 2002 dove era indirizzato alla sola fornitura di beni (nasceva, ad esempio, per l'utilizzo della carta riciclata nelle fotocopiatrici degli uffici pubblici), ampliandone l'applicazione e riferendosi in questo decreto attuativo anche alle opere pubbliche.

È stato quindi istituito un documento denominato Repertorio del Riciclaggio (RR), il quale contiene un elenco dei materiali riciclati e un elenco dei beni realizzati con l'ausilio di materiale riciclato, indicante tra l'altro l'offerta, la disponibilità e la congruità del prezzo. Il RR è tenuto e reso pubblico a cura dell'Osservatorio Nazionale dei Rifiuti (ONR).

Per inserire nel repertorio del riciclaggio un manufatto o un bene è necessario che il soggetto coinvolto faccia una richiesta di inserimento. Il contenuto della richiesta per i materiali riciclati deve riportare alcune informazioni fondamentali, tra cui i dati di identificazione dell'azienda, i codici dell'elenco europeo dei rifiuti con cui viene utilizzato il materiali riciclato e il cui valore deve essere contenuto all'interno di limiti prefissato per il materiale specifico e inoltre deve essere documentato attraverso la dichiarazione di un certificatore che risulti abilitato per svolgere quel compito, tramite una perizia giurata.

Per ciascuna categoria di prodotto, la quantità che rappresenta la domanda annuale di manufatti e merci è espressa in unità di misura adatte all'identificazione delle unità di prodotto; per le categorie di prodotti in cui non è possibile determinare l'unità di misura, il termine quantitativo utilizzato per definire la domanda annuale di beni e manufatti si riferisce all'importo annuale che si intende acquistare.

Se una delle principali cause che avevano ostacolato fino ad allora lo sviluppo del settore era stata la resistenza culturale all'uso degli aggregati riciclati nelle costruzioni (alimentata dall'assenza di strumenti tecnici e normativi adeguati che favorissero l'impiego su vasta scala di questi materiali), il decreto fornisce un'indubbia opportunità per superare questo ostacolo.

4.7 Circolare 15 luglio 2005, n.5205

Importanti basi per dare un impulso rilevante al settore del riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione vengono fornite dalla circolare del Ministero dell'Ambiente del 15 luglio 2005, n. 5205, la quale fornisce indicazioni per rendere operativi i settori

edili, stradali e ambientali. Tra i requisiti fissati per l'iscrizione al "Repertorio del riciclaggio" anche la congruità del prezzo, che si basa sulla reperibilità a distanze limitate dal luogo di utilizzo di questi materiali o su un loro minore costo, in modo da garantire agli enti pubblici un risparmio di risorse. Specificate anche composizione, resistenza, forma e granulometria, mentre nulla viene aggiunto sul tema della compatibilità ambientale rispetto a quanto già stabilito delle norme che regolano il riutilizzo di rifiuti inerti.

La pubblicazione della circolare n. 5205/2005 rende pertanto effettivi gli obblighi previsti per le pubbliche amministrazioni dal decreto 203/2003 avendo come conseguenza l'adeguamento dei capitolati d'appalto delle pubbliche amministrazioni.

Il materiale riciclato, ammissibile alla iscrizione nel Repertorio del riciclaggio, viene precisato come materiale realizzato usando rifiuti post-consumo da costruzione e demolizione. La restrizione ai rifiuti post-consumo non dovrebbe costituire per gli impianti di trattamento una limitazione, in quanto la materia prima è, nella stragrande maggioranza dei casi, costituita da rifiuti da costruzione e demolizione.

La circolare prevede inoltre che i rifiuti derivanti dal post-consumo possano essere miscelati con altri, derivanti anche da diversa origine (rifiuti inerti industriali, terre e rocce da scavo naturali, etc.), mantenendo, tuttavia, la natura prevalente della miscela con un limite minimo della provenienza da rifiuti da post-consumo pari al 60%.

La circolare fornisce una lista di prodotto che vengono realizzati usando rifiuti derivanti da costruzione e demolizione ottenuti dal post-consumo e che trovano collocazione all'interno del Repertorio del riciclaggio. Tra questi troviamo:

- aggregato riciclato per la realizzazione del corpo dei rilevati di opere in terra dell'ingegneria civile
- aggregato riciclato per la realizzazione di sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali e di piazzali, civili e industriali,
- aggregato riciclato per la realizzazione di strati di fondazione delle infrastrutture di trasporto
- aggregato riciclato per la realizzazione di recuperi ambientali, riempimenti e colmate
- aggregato riciclato per la realizzazione di strati accessori aventi funzione anticapillare, antigelo, drenante, etc.

Nel testo sono inoltre indicate due ulteriori condizioni essenziali affinché il bene riciclato possa essere impiegato dalle pubbliche amministrazioni: i materiali iscritti devono presentare contestualmente medesimo uso, ancorché con aspetto, caratteristiche o ciclo produttivo diversi e prestazioni conformi all'utilizzo cui sono destinati rispetto a quelli realizzati a partire da materiali vergini e la congruità di prezzo si ritiene rispettata se tale valore non risulta superiore a quello relativo ai corrispondenti materiali che si vanno a sostituire.

I parametri su cui la circolare ha focalizzato la propria attenzione, imponendo dei limiti, sono: la composizione, la resistenza, la forma, la granulometria e l'ecocompatibilità.

Per quanto concerne la composizione degli aggregati riciclati si è puntato ancora di più alla qualità dei materiali presenti nella miscela. Nello specifico, la presenza di materiali degradabili come la carta, il legno e/o materiali plastici cavi, viene circoscritta ad un valore limite dello 0,1% in massa per tutti gli usi.

La circolare fissa infine i limiti della «perdita in peso per abrasione con apparecchio "Los Angeles"» in «inferiore o uguale» a 45, per i sottofondi stradali, e «inferiore o uguale» a 40, per gli strati di fondazione.

4.8 D.Lgs.3 aprile 2006, n. 152

Il decreto legislativo del 3 aprile 2006 n.153 denominato "*Norme in materia ambientale*", viene approvato a seguito di un iter iniziato nel 2001. La cosiddetta "*Legge sull'ambiente*" è divisa in 6 parti, per un totale di 318 articoli, che modifica le normative vigenti e ha introdotto la legislazione sulla valutazione dell'impatto ambientale, la protezione del suolo e la protezione delle acque, i rifiuti e la riabilitazione dei siti contaminati, la protezione dell'aria e la compensazione dei danni. La quarta parte del decreto contiene le direttive da applicare alla gestione dei rifiuti. È stato modificato l'approccio normativo in materia di rifiuti, senza andare a stravolgere le disposizioni della precedente norma. Questo approccio non trova le sue basi sullo smaltimento dei rifiuti ma bensì nella sua gestione e complessità del processo, che rende di conseguenza le normative standardizzate e regolamentate. Una novità è rappresentata dall'introduzione della responsabilità estesa del produttore, che prevede che i costi relativi alla gestione di certi flussi di rifiuti siano a carico dei produttori dei prodotti parzialmente o totalmente, eventualmente anche in collaborazione con chi li distribuisce.

In quest'ottica le attività di riciclo e recupero trovano uno spazio sempre maggiore. Nell' art.181 viene affrontato nel dettaglio il tema del recupero, evidenziando come ai fini di una corretta gestione dei rifiuti, le Pubbliche Amministrazioni debbano incoraggiare la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti applicando alcune misure quali:

- il riutilizzo, il reimpiego ed il riciclaggio;
- le altre forme di recupero per ottenere materia prima secondaria dai rifiuti;
- l'adozione di misure economiche e la previsione di condizioni di appalto che prescrivano l'impiego dei materiali recuperati dai rifiuti al fine di favorire il mercato di tali materiali;
- l'utilizzazione dei rifiuti come mezzo per produrre energia.

4.9 La marcatura CE

Il marchio CE rappresenta una certificazione che viene posta su un prodotto e senza la quale non può essere commercializzato e/o venduto all'interno dell'Unione Europea. Esso deve essere presente in maniera inderogabile; non rappresenta un valore aggiunto per il prodotto ma testimonia la conformità dello stesso agli standard stabiliti dalla comunità europea.

Quando una norma armonizzata relativa ad un determinato prodotto sottoposto a marcatura CE viene pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale, allora entra in vigore l'obbligatorietà di eseguire la marcatura.

È necessario garantire che i prodotti conferiti sul mercato siano sicuri. Per qualsiasi tipologia di prodotto deve esserci la stessa "garanzia" e procedura alla quale attenersi per garantirne la sicurezza. In particolare:

- analisi dei rischi del prodotto;
- manuale/istruzioni d'uso di complessità e di dimensioni adatte a consentirne un utilizzo senza rischi o con rischi minimi,
- dichiarazione di conformità alla direttiva stessa ed eventuali norme volontarie o obbligatorie relative al prodotto – un'etichetta, in quanto riporta il soggetto/ditta responsabile della sicurezza del prodotto, le caratteristiche principali e riporti eventuali marchi obbligatori.

- informazioni su componenti, materie prime, relativi fornitori e sull'approvvigionamento
- disegni, foto, schemi, relazioni tecniche, documenti tecnici ed eventuali test di prova.

Il produttore, un eventuale consulente esterno, l'organismo notificato indipendente ed il laboratorio di prova sono coinvolti nel processo di marcatura. Per il settore delle costruzioni è ormai nota l'obbligatorietà della marcatura CE. Secondo i requisiti normativi, i produttori fanno partire il processo di certificazione in base ai livelli di conformità che vengono definiti nella Direttiva 205/2011. Qualora i prodotti risultino sprovvisti del marchio CE o anche solo della attestazione di conformità relativa, devono essere ritirati dal mercato con effetto immediato. Alcune volte ne può essere ordinato il sequestro, il divieto di commercializzazione e l'utilizzo, mentre altre ancora può essere ordinata la sospensione dei lavori dagli organi competenti.

Il processo di Marcatura CE dei prodotti da costruzione è prescritto e regolamentato dal Regolamento (UE) 305/2011. Le attività di marketing tra paesi diversi si basano sulle regole generali contenute nelle istruzioni di prestazione e nell'identificazione del prodotto, ma ogni paese è libero di definire regole tecniche specifiche e restrizioni applicabili al proprio territorio. In Italia, chiunque produca aggregati e li immetta sul mercato è tenuto ad apporre il marchio CE sull'uso previsto del prodotto. Così come per qualsiasi tipologia di prodotti, anche gli aggregati ottenuti da materiali riciclati hanno l'obbligo di essere sottoposti a marcatura CE e le loro destinazioni d'applicazioni sono molteplici: le costruzioni stradali e i calcestruzzi sono le principali. A seconda della normativa di riferimento, le destinazioni d'uso degli aggregati possono essere:

NORMA ARMONIZZATA	DESTINAZIONE D'USO DEGLI AGGREGATI
UNI EN 12620	Aggregati per calcestruzzo
UNI EN 13043	Aggregati per conglomerati bituminosi
UNI EN 13055-1	Aggregati leggeri per calcestruzzi e malte
UNI EN 13055-2	Aggregati leggeri per conglomerati bituminosi
UNI EN 13139	Aggregati per malta
UNI EN 13242	Aggregati per materiali con legante idraulico per uso in lavori di ingegneria civile e costruzioni di strade
UNI EN 13383	Aggregati per opere di protezione idraulica
UNI EN 13450	Aggregati per massicciate per ferrovie

Tab. 2 - Possibili destinazioni d'uso di aggregati sottoposte a norme tecniche armonizzate europee (anpar.com)

Nel 2008 sono state rivisitate due norme relative alla marcatura CE degli aggregati. La norma UNI EN 13242 *“aggregati per materiali con legante idraulico per uso in*

lavori di ingegneria civile e costruzioni di strade” e la UNI EN 12620 “*aggregati per calcestruzzi*”. Le precedenti norme hanno portato l’inserimento di alcuni requisiti specifici che riguardano gli aggregati riciclati; ad esempio la revisione della UNI 11104 del 2016 ha portato all’introduzione della massima percentuale di sostituzione applicabile all’aggregato grosso con l’aggregato grosso riciclato a seconda della tipologia, della classe di esposizione e delle classi di resistenza del calcestruzzo.

4.10 Direttiva 2008/98/CE

La direttiva ha rappresentato un nuovo “scenario” nella disciplina europea sulla produzione e gestione dei rifiuti. La direttiva stabilisce alcune misure volte a proteggere l’ambiente e la salute umana prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell’uso delle risorse e migliorandone l’efficacia.

Viene introdotto il principio della gerarchia dei rifiuti, quale ordine di priorità della politica in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti, una sorta di classifica di scelte ambientali:

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento (come ultima alternativa).

Nell’adottare un sistema di classificazione dei rifiuti, gli stati membri dovranno adottare misure per incoraggiare i programmi che forniscono i migliori risultati ambientali globali. Si prevede che alcuni rifiuti specifici possano terminare di essere tali quando sono sottoposti alle operazioni di recupero, incluso il riciclaggio, nel rispetto di standard specifici da elaborare in base a condizioni specifiche e determinate.

Attraverso la responsabilità estesa del produttore promossa dagli stati membri, le persone fisiche o giuridiche che sviluppano, fabbricano, trasformano, trattano, vendono o importano prodotti sono indirizzate ad attuare una politica volta al riutilizzo, alla prevenzione, al riciclaggio e altre tipologie di recupero dei rifiuti.

Gli stati membri dovrebbero adottare le misure necessarie per garantire che i rifiuti vengano riciclati, promuovendo il riciclaggio di alta qualità e, a tal fine, istituire una raccolta differenziata per soddisfare le esigenze dei pertinenti dipartimenti di riciclaggio laddove risultino fattibili sia dal punto di vista tecnico, ambientale ed

economico. La direttiva stabilisce i termini da osservare nell'attuazione di tutte le misure necessarie per creare una società europea di riciclaggio con un elevato livello di efficienza delle risorse, vale a dire:

- entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio di rifiuti quali, come minimo, carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici, e possibilmente di altra origine, nella misura in cui tali flussi di rifiuti sono simili a quelli domestici, sarà aumentata complessivamente almeno al 50 % in termini di peso;
- entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi sarà aumentata almeno al 70 % in termini di peso.

Viene ribadito il principio del «*chi inquina paga*», che consente di individuare i soggetti responsabili a cui attribuire il danno e le operazioni di bonifica e risanamento delle aree inquinate e inoltre viene stabilito che i costi della gestione dei rifiuti sono sostenuti dal produttore iniziale o dai detentori del momento o dai detentori precedenti dei rifiuti. Gli stati membri possono anche stabilire che i costi relativi alla gestione dei rifiuti siano a carico del produttore, sia parzialmente che totalmente, e che anche i distributori del prodotto debbano contribuire alla copertura dei costi.

Tra gli elementi di interesse, la direttiva definisce il concetto di sottoprodotto, che deve soddisfare differenti criteri:

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

4.11 D.Lgs. 3 dicembre 2010, n. 205

La legge, in attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo va a modificare ed integrare il “*Codice Ambientale*” del 2006.

Viene fornita una nuova definizione di rifiuto ossia *“qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi”*; tale definizione non risulta particolarmente differente da quella data in precedenza.

La nozione di rifiuto è stata, però, circoscritta meglio attraverso l'inserimento di norme specifiche per i sottoprodotti che non sono rifiuti, per le materie prime secondarie e l'end of waste ossia di quando un rifiuto cessa di essere tale (ovvero quando è stato sottoposto ad un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo).

Secondo la nuova definizione, cambiano alcuni dei parametri per ammettere il deposito temporaneo inteso ancora come il raggruppamento di rifiuti, effettuato prima del raduno, nell'ambiente in cui sono stati prodotti. Nello specifico, vi sono alcune modalità di recupero o di smaltimento dei rifiuti che sono lasciate all'arbitrio del produttore, purché rispettino alcune semplici regole ovvero ogni qual volta si raggiungano i 30 m³ di cui massimo 10 m³ di rifiuti pericolo e in ogni caso almeno una volta l'anno se la quantità di rifiuti complessivi è inferiore a 30 m³. Questo perché il deposito temporaneo non può avere una durata superiore ad un anno.

4.12 D.M. 11 ottobre 2017

Con il D.M. dell'11 ottobre 2017 sono stati definiti i nuovi criteri ambientali minimi per gli appalti di nuova costruzione, ristrutturazione, manutenzione, riqualificazione energetica di edifici pubblici e per la gestione dei cantieri.

Il documento contiene alcune istruzioni generali per le stazioni appaltate, che prevedono l'esecuzione di offerte relative e l'esecuzione di contratti.

In particolare, queste istruzioni includono raccomandazioni volte a razionalizzare l'approvvigionamento della categoria di prodotti e possono anche comportare l'esecuzione di gare d'appalto relative, l'esecuzione di contratti e/o la gestione di prodotti o oggetti di servizio. Il documento definisce "standard ambientali" e definisce gli standard per le varie fasi del processo di offerta per garantire che le prestazioni ambientali siano superiori alla media del settore. Tra gli aspetti di particolare interesse, il punto 2.4 indica specifici criteri che il progetto di un edificio deve prevedere:

- almeno il 50% del peso dei componenti dell'edificio e dei componenti prefabbricati deve essere smantellato selettivamente al termine della loro vita utile e può essere riciclato o riutilizzato. Di questa percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali;

- Anche se la percentuale utilizzata per ciascun materiale è diversa, il contenuto dei materiali recuperati o riciclati nei materiali utilizzati negli edifici deve essere almeno il 15% del peso totale di tutti i materiali utilizzati. Di questa percentuale, almeno il 5% deve essere costituito da materiali non strutturali;

- i calcestruzzi usati per il progetto devono essere prodotti con un contenuto di materiale riciclato (sul secco) di almeno il 5% sul peso del prodotto (inteso come somma delle singole componenti). Al fine del calcolo della massa di materiale riciclato va considerata la quantità che rimane effettivamente nel prodotto finale;

- Il contenuto totale dei componenti prefabbricati in calcestruzzo utilizzati nel progetto deve essere almeno del 5% in peso (basato su materiali e / o sottoprodotti riciclati e / o riciclati);

- Nei mattoni utilizzati per murature e pavimenti, il contenuto di materiali riciclati e/o riciclati (materiale secco) deve essere almeno il 10% del peso del prodotto. Se il mattone contiene sottoprodotti e/o terreno di scavo oltre a materiali riciclati e/o riciclati, la percentuale deve essere almeno del 15% del peso del prodotto. Per i mattoni utilizzati per coperture, pavimenti e murature esterne, il contenuto di materiali riciclati e/o riciclati (materiale secco) deve essere almeno il 5% del peso del prodotto. Se il mattone contiene sottoprodotti e/o terreno di scavo oltre a materiali riciclati e/o riciclati, la percentuale deve essere almeno del 7,5% del peso del prodotto. Per calcolare la qualità dei materiali riciclati, è necessario prendere in considerazione la quantità effettiva rimanente nel prodotto finale per i materiali e i prodotti costituiti da legno o in materiale a base di legno, o contenenti elementi di origine legnosa, il materiale deve provenire da boschi o foreste gestiti in maniera sostenibile e responsabile o essere costituito da legno riciclato o un insieme dei due;

- Ai fini strutturali, l'acciaio con il minor contenuto di materiali riciclati deve essere utilizzato secondo i seguenti tipi di processi industriali:

- Acciaio per forni elettrici: il contenuto minimo di materiali riciclati è pari al 70%

- Acciaio riciclato complessivo: il contenuto minimo di materiali riciclati è pari al 10%

- Il contenuto di materiali riciclati deve essere almeno del 30% in peso del peso totale di tutti i componenti in plastica utilizzati. Se i componenti utilizzati nei seguenti due casi vengono eliminati contemporaneamente, i requisiti di cui sopra possono essere esentati: ha una funzione specifica per proteggere l'edificio da fattori esterni

(come la pioggia) e ha leggi specifiche ad esso correlate. Gli obblighi sono la garanzia minima di durabilità relativa alle funzioni di cui sopra;

- Per murature di opere di fondazione e opere sopraelevate, il progettista deve specificare l'uso di soli materiali riciclabili (pietre e blocchi);
- Le pareti divisorie e i controsoffitti utilizzati per l'installazione di sistemi a secco devono contenere almeno il 5% in peso di materie riciclate, recuperate o derivanti da sottoprodotti.

4.13 Direttiva 2018/851/UE

La Commissione europea ha presentato nel dicembre 2015 nell'ambito del pacchetto sull'economia circolare, alcune proposte di direttive utili a produrre meno rifiuti e ad aumentare in modo sostanziale il riciclaggio dei rifiuti urbani e dei rifiuti d'imballaggio. L'obiettivo promosso dalla direttiva è quello di ridurre in maniera graduale il ricorso alla discarica e contestualmente promuovere l'utilizzo di strumenti economici come la responsabilità estesa del produttore. Per consentire la realizzazione di un'economia circolare, la direttiva fortifica la "gerarchia dei rifiuti", prescrivendo agli stati membri l'adozione di misure dettagliate volte alla prevenzione, al riutilizzo e al riciclaggio piuttosto che allo smaltimento in discarica o all'incenerimento. Le intenzioni sono poi successivamente entrate a far parte del corpus giuridico dell'Unione Europea. Ad esse fanno riferimento le norme adottate nel maggio 2018, che rappresentano una normativa in materia di rifiuti estremamente moderna. Per il raggiungimento degli obiettivi promossi dalle linee guida, si deve aumentare in maniera concreta il riciclo dei rifiuti urbani e quello dei rifiuti da imballaggio, in maniera tale da produrre una minor quantità di rifiuti. Sono state inoltre revisionate le norme che prevedono il calcolo delle percentuali di riciclaggio; in questo modo si potranno monitorare i progressi messi in luce dal compimento di un'economia di tipo circolare. Per migliorare la qualità delle materie prime secondarie e per diffonderne ulteriormente l'utilizzo, le nuove norme in vigore sulla raccolta differenziata ampliano l'obbligo di differenziare la plastica, il vetro e la carta e il cartone: entro il 2022 si dovranno raccogliere separatamente i rifiuti domestici pericolosi, entro il 2023 i rifiuti organici ed entro il 2025 i tessili. Entro il 2035 i rifiuti urbani smaltiti in discarica dovranno essere ridotti, per costituire al massimo il 10% del totale dei rifiuti urbani prodotti. In questo mutamento da economia lineare ad economia circolare, un ruolo molto importante è assegnato ai produttori, che saranno tenuti responsabili dei loro

prodotti quando diventano rifiuti. I nuovi requisiti in materia di responsabilità estesa del produttore miglioreranno i risultati e l'amministrazione di questi regimi, che dovranno essere creati per tutti i tipi di imballaggio entro il 2024.

Obiettivi di riciclaggio dei rifiuti urbani

Entro il 2025	Entro il 2030	Entro il 2035
55%	60%	65%

Nuovi obiettivi di riciclaggio dei rifiuti d'imballaggio

	Entro il 2025	Entro il 2030
Tutti i tipi d'imballaggio	65%	70%
Plastica	50%	55%
Legno	25%	30%
Metalli ferrosi	70%	80%
Alluminio	50%	60%
Vetro	70%	75%
Carta e cartone	75%	85%

4.14 Tabella riassuntiva del quadro normativo

Legge	Aspetti principali
D.L. 20 marzo 1941, n.366	Prime normative nazionali sulla gestione rifiuti urbani a valenza prevalentemente igienica
Direttiva 75/442/Cee	Prima regolamentazione della problematica ambientale legata alla gestione dei rifiuti urbani a livello europeo
D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915	Attuazione della direttiva europea con attenzione prevalente allo smaltimento dei rifiuti
D.L. 5 febbraio 1997, n.22 (Decreto Ronchi)	Introduce un concetto ampio di gestione dei rifiuti, comprendendo tutte le operazioni ad essa relative
D.M. 5 febbraio 1998	Norme tecniche generali e condizioni specifiche sul recupero di rifiuti
Legge 28 dicembre 2001, n.448 (Finanziaria 2002)	Introduce in previsione l'indicazione che le pubbliche amministrazioni coprano il fabbisogno annuale dei manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato non inferiore al 30%
D.M. 8 maggio 2003, n.203	Imposizione alle Pubbliche Amministrazioni di soddisfare il proprio fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota non inferiore al 30% di prodotti ottenuti con materiale riciclato. Istituzione del repertorio di riciclaggio.
Circolare 15 luglio 2005, n.5205.	Fornisce le indicazioni per rendere operativo nel settore edile, stradale e ambientale il D.M. n . 203/2003, ponendo basi concrete per un importante impulso al settore del riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione
D.L. 3 aprile 2006, n.152	Norme generali su impatto ambientale, difesa del suolo e tutela delle acque, rifiuti e bonifica dei siti inquinati, tutela dell'aria e risarcimento del danno ambientale. Promozione di recupero e riciclo del rifiuto nelle attività di gestione.
Mappatura CE	Garanzia sulla sicurezza dei prodotti immessi sul mercato europeo.
Direttiva 2008/98/CE	Introdotta una gerarchia nel processo di gestione dei rifiuti dove smaltimento è scenario ultimo. Fissazione per gli stati membri di specifici quantitativi di riciclo da raggiungere. Definisce il concetto di sottoprodotto.
D.Lgs.3 dicembre 2010, n. 205	Aggiornamento del Codice Ambientale
D.M. 11 ottobre 2017	Fissa nuovi criteri ambientali minimi per gli appalti di nuova costruzione, ristrutturazione, manutenzione, riqualificazione energetica di edifici pubblici e per la gestione dei cantieri.
Direttiva 2018/851/UE	Rafforzamento della "gerarchia dei rifiuti". Nuove più stringenti richieste agli stati membri sui quantitativi di riciclo.

5. Le certificazioni ambientali

5.1 Le certificazioni ambientali e la centralità dei materiali riciclati

Al giorno d'oggi, l'obiettivo dell'edilizia contemporanea è costruire edifici salubri, innovativi e rispettosi dell'ambiente.

È particolarmente importante certificare l'impatto degli edifici sull'ambiente o il livello di sostenibilità raggiunto perché ci consente di enfatizzare le preoccupazioni ambientali di progettisti, costruttori e clienti. L'edilizia sostenibile ha un valore aggiunto e dà vita a un mercato qualificato in cui i produttori si concentrano su prodotti di alta qualità, i progettisti perseguono lo sviluppo sostenibile, i costruttori rispettano una serie di procedure e i clienti ottengono edifici salubri e a basso impatto ambientale.

A differenza delle certificazioni energetiche, che valutano esclusivamente il consumo di energia primaria per il funzionamento dell'edificio, le certificazioni ambientali hanno un approccio globale e misurano la sostenibilità del progetto, valutando il suo intero ciclo di vita. Allo stato attuale, esistono numerosi protocolli per valutare la sostenibilità di un edificio, sia a livello nazionale che internazionale e molti paesi hanno prodotto il proprio. Nella maggior parte dei casi si tratta di procedure di valutazione basate su un sistema a punteggio, suddiviso in diverse categorie oggetto di misurazione. I temi toccati sono i materiali da costruzione, l'energia, il consumo di risorse naturali, l'inquinamento di aria e acqua e la produzione di rifiuti.

Come emergerà dall'analisi delle principali certificazioni italiane e internazionali, il tema dell'utilizzo di materiali riciclati e più in generale la riduzione della produzione di rifiuti durante tutto il ciclo vitale degli edifici svolgono un ruolo significativo nell'ottenimento di punteggi e standard elevati.

5.2 Le certificazioni italiane

5.2.1 Il Protocollo ITACA

Come spiegato sulla pagina web di ITACA (Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale – Associazione nazionale delle Regioni e delle Province autonome), questo protocollo nato diversi anni fa dall'esigenza delle Regioni di dotarsi di strumenti validi per supportare politiche territoriali di

promozione della sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni, è stato realizzato da ITACA nell'ambito del Gruppo di lavoro interregionale per l'Edilizia Sostenibile istituito nel dicembre 2001, con il supporto tecnico di iiSBE Italia (international initiative for a Sustainable Built Environment Italia) ed approvato il 15 gennaio 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. In seguito, il Protocollo è stato adottato da numerose Regioni e amministrazioni comunali in diverse iniziative volte a promuovere e ad incentivare l'edilizia sostenibile attraverso leggi regionali, regolamenti edilizi, gare d'appalto e piani urbanistici.

Nelle sue diverse declinazioni, è uno strumento di valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici. Tra i più diffusi sistemi di valutazione, il Protocollo permette di verificare le prestazioni di un edificio in riferimento non solo ai consumi e all'efficienza energetica, ma prendendo anche in considerazione il suo impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, favorendo così la realizzazione di edifici sempre più innovativi, a energia zero, a ridotti consumi di acqua, nonché materiali che nella loro produzione comportino bassi consumi energetici e nello stesso tempo garantiscano un elevato comfort. Il protocollo garantisce inoltre l'oggettività della valutazione attraverso l'impiego di indicatori e metodi di verifica conformi alle norme tecniche e leggi nazionali di riferimento ed è derivato dal modello di valutazione internazionale SBTool, sviluppato nell'ambito del processo di ricerca Green Building Challenge, contestualizzato al territorio italiano in relazione alla normativa di riferimento ed ai propri caratteri ambientali.

I principi su cui si basa lo strumento sono:

- l'individuazione di criteri, ossia i temi ambientali che permettono di misurare le varie prestazioni ambientali dell'edificio posto in esame;
- la definizione di prestazioni di riferimento (benchmark) con cui confrontare quelle dell'edificio ai fini dell'attribuzione di un punteggio corrispondente al rapporto della prestazione con il benchmark;
- la "pesatura" dei criteri che ne determinano la maggiore e minore importanza;
- il punteggio finale sintetico che definisce il grado di miglioramento dell'insieme delle prestazioni rispetto al livello standard.

In dettaglio. Il protocollo è costituito da standard, categorie, aree di valutazione e strumenti ed è strutturalmente modificato in base all'uso previsto, al tipo di intervento e al contesto. Tali standard descrivono e illustrano l'intero processo di

produzione dell'edificio: dal cantiere al manuale di manutenzione; le prestazioni di ciascun componente vengono valutate in base al tipo di intervento, all'ambiente e all'uso previsto dell'edificio e alcune circostanze possono portare a standard individuali o alla disattivazione di intere categorie.

Sono quindi le caratteristiche dell'edificio a determinare la configurazione del Protocollo ITACA più adatto al progetto che si intende valutare. Più nel dettaglio figura:

1. destinazione d'uso
2. tipologia di intervento
3. parametri caratteristici dell'edificio
4. specifiche di contesto

Attraverso i parametri specifici dell'edificio, è possibile calcolare gli indicatori di prestazione dell'edificio, che possono essere quantitativi o qualitativi, a seconda del tipo di norma e dei pertinenti riferimenti legislativi e regolamentari. Viene definito un indicatore di prestazione, che messo in rapporto con la relativa scala di prestazione, definita *benchmark*, determina un punteggio del criterio compreso tra -1 e 5, definendo in questo modo una scala di valutazione. Tale punteggio ottenuto rappresenta il valore normalizzato dell'indicatore di prestazione e permette successivamente di elaborare i punteggi relativi all'edificio in forma aggregata e consente il confronto tra le prestazioni dei criteri di valutazione dell'edificio. I punteggi vengono determinati mediante una scala di valutazione, la quale definisce a sua volta i livelli di prestazione. I punteggi dei criteri rapportati al peso determinano poi i punteggi degli altri elementi contenuti nel Protocollo come ad esempio le categorie. Infine, il peso rappresenta l'importanza del criterio e viene determinato stimando il suo impatto ambientale.

-1	Prestazione inferiore allo standard e alla pratica costruttiva corrente
0	Prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti. Rappresenta la pratica costruttiva corrente
1	Lieve miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica costruttiva corrente
2	Moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica costruttiva corrente
3	Significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica comune. Migliore pratica corrente
4	Moderato incremento della migliore pratica costruttiva corrente
5	Prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica costruttiva corrente. Sperimentale

Tab. 3 - La scala di valutazione del Protocollo Itaca. Criterio vs. Benchmark (www.itaca.org)

Attraverso il sistema di pesatura vengono calcolati tutti gli altri punteggi:

1. i punteggi dei criteri concorrono alla formazione dei punteggi delle categorie;
2. i punteggi delle categorie concorrono alla formazione dei punteggi delle aree di

valutazione;

3. i punteggi delle aree di valutazione concorrono alla formazione dei punteggi degli strumenti;

4. i punteggi degli strumenti concorrono alla formazione del punteggio globale.

Il punteggio globale rappresenta la prestazione di sostenibilità energetico ambientale dell'intero edificio secondo la scala di valutazione adottata da ITACA. Il punteggio globale rappresenta la soglia fissata, di volta in volta, dalle normative regionali che prevedono la concessione di incentivi volumetrici, fiscali e in alcuni casi economici. Dal momento che ogni regione ha la sua normativa per la valutazione di edifici residenziali e non residenziali, le differenti specificità sono tenute in conto nell'elaborazione dei punteggi (ITACA, 2020),



Fig. 1 - Punteggio globale per residenze di nuova costruzione (www.itaca.org)

5.2.2 Protocollo ITACA, edifici residenziali e recupero di materiale riciclato

Nel caso dell'analisi di un edificio residenziale, l'oggetto di valutazione sono il singolo edificio e la sua area esterna di pertinenza. Le indicazioni si applicano ai fini del calcolo del punteggio delle prestazioni di edifici residenziali, sia di nuova costruzione che oggetto di ristrutturazioni importanti e che coinvolgono non la singola unità immobiliare, ma l'intero edificio. Il Protocollo ITACA fornisce un elenco dei criteri di valutazione, raggruppati per categorie:

- A.1 Selezione del sito
- A.3 Progettazione dell'area
- B.1 Energia primaria richiesta durante il ciclo di vita
- B.3 Energia da fonti rinnovabili
- B.4 Materiali eco-compatibili
 - B.4.1 Riutilizzo delle strutture esistenti
 - B.4.6 Materiali riciclati/recuperati
 - B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili
 - B.4.8 Materiali locali
 - B.4.10 Materiali disassemblabili
 - B.4.11 Materiali certificati
- B.5 Acqua potabile
- B.6 Prestazioni dell'involucro
- C.1 Emissioni di CO2 equivalente
- C.3 Rifiuti solidi
- C.4 Acque reflue
- C.6 Impatto sull'ambiente circostante
- D.2 Ventilazione
- D.3 Benessere termoigrometrico
- D.4 Benessere visivo
- D.5 Benessere acustico
- D.6 Inquinamento elettromagnetico
- E.3 Controllabilità degli impianti
- E.6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa

In posizione di particolare interesse per quanto concerne il riciclo/recupero di materiali si collocano i criteri B.4.6/B.4.7/B.4.10, evidenziando come anche in questa certificazione il tema “recupero” sia centrale al fine di ottenere elevati punteggi prestazionali.

SCHEDA CRITERIO B.4.6 – MATERIALI RICICLATI/RECUPERATI

CONSUMO DI RISORSE		NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	B.4.6
Materiali eco-compatibili			
Materiali riciclati/recuperati			
AREA DI VALUTAZIONE		CATEGORIA	
B. Consumo di risorse		B.4 Materiali eco-compatibili	
ESIGENZA	PESO	DEL	
Favorire l'impiego di materiali riciclati e di recupero per diminuire il consumo di nuove risorse a favore dell'economia circolare.	nella categoria	nel sistema completo	
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA		
Percentuale in peso dei materiali riciclati e/o di recupero e utilizzati nell'intervento in aggiunta alla percentuale limite di legge.	%		
SCALA DI PRESTAZIONE			
	%	PUNTI	
NEGATIVO	<0,0	-1	
SUFFICIENTE	0,0	0	
BUONO	3,0	3	
OTTIMO	5,0	5	

Fig. 2 - Scheda criterio per materiali riciclati/recuperati (www.itaca.org)

Per materiale recuperato si intende un materiale che sarebbe stato altrimenti smaltito come rifiuto o utilizzato per il recupero di energia, ma che è stato invece raccolto e recuperato come materiale da riutilizzare direttamente in una nuova costruzione o in un intervento di riqualificazione.

Dall'analisi della documentazione di progetto viene prodotto l'inventario dei materiali utilizzati per l'edificio. Per ogni materiale viene indicato il peso in chilogrammi. Per ognuno dei materiali utilizzati viene individuata la percentuale, determinata rispetto al peso, di materiale riciclato o recuperato che lo compone. Tenendo in conto il valore del contenuto minimo di materia recuperata o riciclata prevista dalla normativa in vigore (D.M .11/10/2017 - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, e ss.mm.ii.), si determina il peso del contenuto di materiali riciclati o recuperati utilizzati per l'edificio corrispondente al valore limite di legge.

Viene quindi calcolato il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso dei materiali riciclati e/o di recupero impiegati in progetto in

aggiunta al quantitativo minimo previsto dalla legge e il peso totale dei materiali impiegati nell'intervento in esame.

Confrontando il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione si ricava il punteggio del criterio.

SCHEDA CRITERIO B.4.7 – MATERIALI DA FONTI RINNOVABILI		
CONSUMO DI RISORSE	NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE	B.4.7
Materiali eco-compatibili		
Materiali da fonti rinnovabili		
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Consumo di risorse	B.4 Materiali eco-compatibili	
ESIGENZA	PESO	DEL
Favorire l'impiego di materiali da fonte rinnovabile per diminuire il consumo di nuove risorse.	nella categoria	nel sistema completo
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Percentuale in peso dei materiali da fonte rinnovabile utilizzati nell'intervento.	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	20	3
OTTIMO	33	5

Fig. 3 - Scheda criterio per materiali da fonti rinnovabili (www.itaca.org)

Dall'analisi della documentazione di progetto viene prodotto l'inventario dei materiali utilizzati per l'edificio. È indicato per ogni materiale il peso in chilogrammi. Il metodo di verifica deve essere applicato all'intero edificio nel caso di progetto di nuova costruzione e unicamente agli elementi interessati dall'intervento nel caso di progetto di ristrutturazione.

Per ognuno dei materiali utilizzati per l'edificio e contenuti nell'inventario è calcolata la percentuale, determinata rispetto al peso, di materiale da fonte rinnovabile che lo compone.

Per “materiale da fonte rinnovabile” si intende un materiale in grado di rigenerarsi nel tempo ovvero materiale di origine animale o vegetale. Il valore calcolato è confrontato con i benchmark della scala di prestazione in modo tale da attribuire il

punteggio del criterio per interpolazione lineare rispetto ai valori della scala di prestazione (ITACA, 2020).

SCHEDA CRITERIO B.4.10 – MATERIALI DISASSEMBLABILI		
CONSUMO DI RISORSE		NUOVA COSTRUZIONE RISTRUTTURAZIONE
Materiali eco-compatibili		B.4.10
Materiali disassemblabili		
AREA DI VALUTAZIONE	CATEGORIA	
B. Consumo di risorse	B.4 Materiali eco-compatibili	
ESIGENZA	PESO DEL CRITERIO	
Favorire una progettazione che consenta disassemblaggi selettivi dei componenti in modo da poter essere riutilizzati o riciclati.	nella categoria	nel sistema completo
INDICATORE DI PRESTAZIONE	UNITÀ DI MISURA	
Percentuale in peso dei materiali disassemblabili rispetto a quelli utilizzati nell'intervento.	%	
SCALA DI PRESTAZIONE		
	%	PUNTI
NEGATIVO	<50	-1
SUFFICIENTE	50	0
BUONO	65	3
OTTIMO	80	5

Fig. 4 - Scheda criterio per materiali disassemblabili (www.itaca.org)

Devono essere descritte le soluzioni e le strategie adottate al fine di facilitare il disassemblaggio, il riuso o il riciclo dei componenti costituenti l'edificio, nonché le strategie progettuali previste per facilitare le operazioni di smontaggio degli elementi costitutivi (ovvero dei sistemi costruttivi a secco che ne consentano la demolizione selettiva) e che ne permettano l'eventuale riuso e/o riciclo. I serramenti e i componenti degli impianti non sono da considerarsi elementi adatti al disassemblaggio. Per ogni materiale costituente l'edificio deve essere espresso anche il peso in chilogrammi. Per ognuno dei materiali utilizzati per l'edificio e contenuti nell'inventario, è individuata la percentuale, determinata rispetto al peso, di materiali disassemblabili che possono essere riciclati o riutilizzati che lo compone. Di tale percentuale almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali. Viene quindi calcolato il valore dell'indicatore di prestazione come rapporto percentuale tra il peso dei materiali disassemblabili che possono essere riciclati o riutilizzati in progetto e il peso totale dei

materiali impiegati nell'intervento in esame. Confrontando il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione è possibile attribuire un punteggio al criterio.

5.3 Le certificazioni internazionali

5.3.1 La certificazione LEED

Leed (Leadership in Energy and Environmental Design) rappresenta uno standard di certificazione energetica e di sostenibilità, nato negli Stati Uniti e promosso dal U.S Green Building Council. È un protocollo di certificazione riconosciuto a livello internazionale, che attesta la qualità della realizzazione di un'opera sotto il profilo della sostenibilità seguendo criteri ben precisi. Tra le prestazioni degli edifici di settore che la certificazione prende in esame troviamo il risparmio sia energetico che idrico, le emissioni di anidride carbonica, le tipologie di materiali, la qualità ecologica degli interni e la collocazione dell'edificio. Come per altre certificazioni, anche la LEED non rappresenta un obbligo di legge e viene applicata sempre su base volontaria.

I criteri del LEED si basano sull'attribuzione di un certo numero di crediti in base al raggiungimento di diversi requisiti; il totale dei crediti sarà il riferimento per stabilire il livello raggiunto di certificazione. I punti cardine della valutazione comprendono diversi ambiti: quello ambientale, sociale, economico e relativo alla salute. Il sistema di classificazione affronta sette aree maggiori:

➔ **Sostenibilità del sito (26 punti):** viene analizzato l'inquinamento dall'attività di cantiere, la localizzazione del sito e la densità edilizia, la vicinanza a servizi e mobilità, la gestione degli spazi verdi, la gestione delle acque meteoriche, il contributo all'effetto isola di calore e la presenza di spazi di relazione interni ed esterni;

➔ **Gestione delle Acque (10 punti):** la riduzione del consumo di acqua potabile ad uso domestico e il recupero delle acque non potabili;

➔ **Energia e Atmosfera (35 punti):** vengono analizzate le prestazioni energetiche dell'edificio, la quantità di energia utilizzata e prodotta da fonti rinnovabili e la qualità degli elettrodomestici;

➔ **Materiali e risorse (14 punti):** viene valutata la riciclabilità dei materiali, la loro provenienza da luoghi a distanza limitata, la gestione dei rifiuti di cantiere. Di questi fanno parte:

- Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili (obbligatorio - prerequisito)

- Riuso degli edifici: mantenimento delle murature, solai e coperture esistenti
- Riuso degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni
- Controllo dei rifiuti da costruzione
- Riuso dei materiali
- Contenuto di riciclato
- Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)

➔ **Qualità Ambientale Interna (14 punti):** vengono valutate le emissioni esterne e interne dell'edificio, la protezione dal radon, l'uso di strategie per l'ottimizzazione della luce naturale, di sistemi di controllo della ventilazione e dell'umidità, il controllo dell'inquinamento indoor e l'acustica;

➔ **Innovazione nella progettazione (6 punti):** valutazione di sistemi di progettazione integrata;

➔ **Priorità regionali (4 punti):** viene valutato il livello di valorizzazione delle peculiarità della località in cui è situato il progetto;

In base ai punteggi nei singoli criteri, gli edifici possono essere classificati in quattro diversi livelli di qualificazione:

- certificazione Leed Platinum (punteggio da 80 a 110)
- certificazione Leed Gold (punteggio da 60 a 79)
- certificazione Leed Silver (punteggio da 50 a 59)
- certificazione Leed (certificazione base, punteggio da 40 a 49 crediti)

Gli standard Leed sono stati rielaborati per il territorio italiano da Green Building Council Italia (GBC Italia), che si è occupata di adattare la metodologia LEED alla realtà edilizia italiana andando a considerare le specifiche condizioni climatiche,

normative e tecniche italiane. GBC Italia è un'associazione no profit con la missione di guidare l'intera filiera dell'edilizia nell'ottica di una trasformazione sostenibile per uno spazio abitato più salubre, sicuro, confortevole ed efficiente.

Il certificato LEED viene ottenuto dal costruttore dopo aver inviato una documentazione di rispetto delle normative richieste dai vari sistemi di valutazione e dopo aver pagato le spese di revisione e certificazione. Il certificato viene concesso soltanto dal "Green Building Council" responsabile dell'elaborazione e istituzione del particolare sistema LEED usato nel progetto. I vantaggi competitivi per coloro che adottano gli standard LEED sono identificabili soprattutto nella grande qualità finale del manufatto e nel notevole risparmio di costi di gestione che questi edifici permettono di ottenere se comparati con edifici tradizionali (*Green Building Council Italia, 2020*).

5.3.2 La certificazione LEED e i materiali riciclati

Nell'edilizia sostenibile la scelta dei materiali è di primaria importanza. Infatti, durante l'intero ciclo di vita, estrazione, lavorazione, trasporto, utilizzo e smaltimento, possono avere conseguenze negative sulla salute e sull'ambiente, causando, per esempio, l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, la distruzione degli habitat naturali e il depauperamento delle risorse naturali. Riutilizzare gli edifici esistenti, o i loro componenti, riduce l'impatto ambientale derivante dalla produzione e utilizzo di nuovi materiali. Lo smaltimento dei rifiuti di cantiere attraverso centri di raccolta e di riciclo contribuisce significativamente a ridurre l'impatto ambientale della fase di costruzione dell'edificio. Le strategie più efficaci per la riduzione dei rifiuti sono rappresentate, nell'ordine, dalla riduzione di utilizzo di materie prime, dal riutilizzo e dal riciclo dei rifiuti stessi.

L'obiettivo dei crediti presi in esame è evitare che i rifiuti di costruzione, demolizione e pulizia del terreno siano conferiti in discarica e negli inceneritori, in modo da favorire la reimmissione delle risorse riciclabili nel processo produttivo, conferendo i materiali riutilizzabili in specifici siti di raduno.

D'altro canto, un altro obiettivo centrale è aumentare la richiesta di prodotti che contengano materiali riciclati, riducendo in questo modo gli impatti derivanti dall'estrazione e dalla lavorazione di materiali vergini. Oggi, gli aggregati provenienti dai rifiuti di demolizione nel campo dell'edilizia e dell'ingegneria strutturale su larga scala, nonché i rifiuti generati durante la produzione di componenti e prodotti

prefabbricati, costituiscono una fonte secondaria molto importante per la costruzione di nuove opere.

SI	?	NO	Materiali e Risorse		Punteggio massimo:	14
SI			Prereq. 1	Gestione del ciclo dei rifiuti		Obbligatorio
			Credito 1	Riutilizzo di elementi strutturali e non strutturali degli edifici		1 - 3
				Involucro e strutture ≥ 70%		1
				Involucro e strutture ≥ 90%		2
				Partizioni interne ≥ 50%		1
			Credito 2	Gestione dei rifiuti da demolizione e costruzione		1 - 2
				Deviare il 75% di tre tipologie di rifiuto		1
				Deviare il 90% di quattro tipologie di rifiuto		2
				Rifiuto prodotto in base ai metri quadrati di superficie lordi di edificio		2
			Credito 3	Certificazione multicriterio		2 - 4
				% del costo totale dei prodotti installati ≥ 30%		2
				% del costo totale dei prodotti installati ≥ 40%		3
				% del costo totale dei prodotti installati ≥ 50%		4
			Credito 4	Ottimizzazione ambientale dei prodotti		3
				Nuove Costruzioni		3
				Ristrutturazioni		3
			Credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata		1 - 2
				10% materiali regionali		1
				20% materiali regionali		2

Fig. 4 - Crediti con relativo punteggio per i materiali e le risorse (www.gbitalia.org)

MR(Materiali e Risorse) PREREQUISITO>>GESTIONE DEL CICLO DEI RIFIUTI: Obbligatorio

Il prerequisito valuta il riciclo e/o recupero dei rifiuti non pericolosi derivanti dalle attività di costruzione e demolizione: l'obiettivo è la gestione del ciclo dei rifiuti, favorendo la raccolta differenziata di quelli prodotti sia nella fase di realizzazione che di utilizzo.

Questo prerequisito prende in considerazione quanto del materiale di scarto, in uscita dal sito di progetto, viene deviato dalle discariche.

Il recupero può interessare materiali come mobilio, computer e equipaggiamenti vari, lavagne, armadietti metallici, componenti di illuminazione e di idraulica. Il materiale recuperato può essere donato a organizzazioni di beneficenza, a centri per il riutilizzo dei materiali, organizzazioni no-profit ad altri operatori. Anche i materiali venduti alla comunità possono entrare nel conteggio. I calcoli per questo prerequisito sono basati sulla quantità dei rifiuti di cantiere derivanti dal conferimento in discarica o all'inceneritore rapportati con l'ammontare totale dei rifiuti prodotti dal sito.

Qualsiasi scarto di cantiere trasformato in un prodotto contenente materiale riciclato che abbia un valore sul mercato (per esempio: materiale alternativo per la copertura quotidiana in discarica) può essere incluso nei calcoli dei rifiuti di cantiere.

La tabella fornisce un esempio di calcolo per il riepilogo dei rifiuti.

Tabella 1. Esempio di gestione differenziata dei rifiuti da costruzione.

Descrizione del materiale deviato/riciclato	Luogo di recupero o trasportatore	Quantità deviata/riciclati	Unità di misura
Cemento armato	Riciclaggio ABC	138,0	t
Legno	Z-Construction Riciclaggio	10,2	t
Pannelli in cartongesso	Riciclaggio WKY	6,3	t
Acciaio	Riciclaggio acciaio	1,1	t
Asfalto frantumato	Riciclaggio in sito	98,2	t
Muratura	Riciclaggio ABC	6,8	t
Cartone	Riciclaggio ABC	1,6	t
Quantità totale di rifiuti recuperati		262,2	t
Descrizione dei materiali da discarica	Luogo di discarica o trasportare	Quantità di rifiuti non recuperati	Unità di misura
Rifiuti generali indifferenziati	Discarica XYZ	52,3	t
Quantità totale rifiuti inviati in discarica			52,3 t
Quantità totale rifiuti prodotta			314,5 t
Percentuale di rifiuti deviati dalla discarica			83,4%

MR Prerequisito 1
Obbligatorio

Tabella 2. Densità di riferimento di alcuni rifiuti solidi da utilizzare per la conversione volume/peso.

Materiale	Densità [kg/dm ³]
Cartone	0,46
Pannelli in cartongesso	2,30
Rifiuti indifferenziati	2,00
Pietrisco	3,00
Acciaio	7,80
Legno (media)	0,75

Fig. 5. - Esempio di gestione differenziata dei rifiuti da costruzione (www.gbitalia.org)

MR CREDITO 4.1 >> RIUTILIZZO DI ELEMENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI DEGLI EDIFICI: 1-3 punti

Gli obiettivi associati ai criteri di selezione sono di estendere il ciclo di vita del patrimonio architettonico esistente, proteggere le risorse, proteggere il patrimonio culturale, ridurre l'impatto dei rifiuti e dei nuovi edifici sull'ambiente e i problemi relativi alla produzione e al trasporto dei materiali. La percentuale minima (calcolata rispetto alla superficie) di riutilizzo di un edificio, a seconda delle opzioni, assegna i seguenti punteggi:

- Involucro e strutture (1-2 punti): mantenere la struttura portante dell'edificio esistente e dell'involucro edilizio (ad esclusione di infissi esterni verticali e orizzontali) >70% 1 punto, >90% 2 punti.

- Partizioni interne (1 Punto): mantenere gli elementi non strutturali interni esistenti (partizioni interne e tramezze) >50% 1 punto.

Se il progetto include un ampliamento di un edificio, questo credito non è perseguibile se l'estensione dell'ampliamento è maggiore del doppio di quella dell'edificio esistente (*Green Building Council Italia, 2020*).

La riqualificazione e la rifunzionalizzazione degli edifici è una strategia molto vantaggiosa per la riduzione dell'impatto ambientale globale delle costruzioni. Il riutilizzo degli edifici esistenti consente il contenimento nell'utilizzo del suolo, promuovendo la rigenerazione del tessuto urbano esistente e limitando la progressiva espansione delle città e dei territori antropizzati. Inoltre, la rifunzionalizzazione del manufatto esistente, prolungandone il ciclo di vita, riduce significativamente i consumi energetici associati al processo di demolizione e smaltimento dei rifiuti e, limitando la richiesta di materiali da inserire ex-novo, riduce anche l'impatto ambientale dovuto a estrazione, lavorazione e trasporto di materie prime.

MR CREDITO 4.2 >> GESTIONE DEI RIFIUTI DA DEMOLIZIONE E COSTRUZIONE: 1 - 2 punti

Lo scopo è trasferire i rifiuti di costruzione e demolizione da discariche o inceneritori e in risorse riciclabili recuperate durante la produzione e reindirizzare i materiali riutilizzabili in siti di raccolta appropriati. La percentuale richiesta rappresenta la quantità di materiale deviato attraverso il riciclo e il recupero diviso per il totale degli scarti generati dal progetto di costruzione. I calcoli per questo credito sono basati sulla quantità dei rifiuti di cantiere devianti dal conferimento in discarica o all'inceneritore rapportati con l'ammontare totale dei rifiuti prodotti dal sito:

OPZIONE 1. Deviare una percentuale di rifiuto (1-2 punti).

CASO 1 - Deviare il 75% di tre tipologie di rifiuto (1 punto).

Deviare almeno tre tipologie di rifiuti per almeno il 75% del totale dei rifiuti prodotti.

CASO 2 - Deviare il 90% di quattro tipologie di rifiuto (2 punti).

Deviare almeno quattro tipologie di rifiuti per almeno il 90% del totale dei rifiuti prodotti.

In alternativa si ha l'OPZIONE 2. Rifiuto prodotto in base ai metri quadrati di superficie lorda di edificio (2 punti).

Non generare più di 15 chilogrammi di rifiuti per m² di superficie lorda dell'edificio.

Inoltre, per entrambe le opzioni, terre e rocce da scavo o detriti dallo sgombero del terreno non contribuiscono a questo credito.

Qualora vengano perseguite entrambe le opzioni, il punteggio massimo previsto per questo credito è pari a 2 punti. Un ulteriore terzo punto di prestazione esemplare verrà conteggiato nella sezione di innovazione nella progettazione.

MR 4.3 CERTIFICAZIONE MULTICRITERIO: 2 - 4 punti

Nel processo edilizio l'impatto ambientale legato alla produzione dei materiali da costruzione è rilevante. Tale parametro è misurabile, in termini variabili, in funzione alle peculiarità e agli impieghi dei differenti materiali.

In quest'ottica, ad esempio, i prodotti con attestabile contenuto di riciclato, riducono l'uso di materiale vergine e i volumi di rifiuti solidi. Inoltre tale mercato si sviluppa al crescere del numero dei prodotti da costruzione contenenti materiale riciclato.

L'obiettivo è quindi quello di favorire l'utilizzo di prodotti e materiali per i quali sono dimostrate attività di estrazione, lavorazione o fornitura ambientalmente responsabili.

Nel criterio è richiesto l'utilizzo di prodotti che rispondano ad uno o più dei criteri di estrazione responsabile sotto indicati:

- responsabilità prolungata del produttore;
- materiali rapidamente rinnovabili (bio-based materials);
- prodotti di legno certificati secondo il *Forest Stewardship Council* (FSC) o il *Programme for Endorsement of Forest Certification schemes* (PEFC);
- contenuto di riciclato del prodotto secondo la UNI EN ISO 14021, come somma del contenuto di riciclato post-consumo più la metà del contenuto pre-consumo, basati sul costo.

Il conseguimento del credito è possibile secondo le seguenti soglie:

- in base alla % del costo totale dei prodotti installati permanentemente nel progetto vengono assegnati 2 (30%), 3 (40%) o 4 (50%) punti.

Questo credito è qualificabile per il conseguimento di un punto ulteriore per prestazioni esemplari nella sezione IP (*Innovazione nella Progettazione*) rispettando il seguente requisito:

- in base alla % di prodotti che rispondono al credito multicriterio >60%.

Totale dei costi costruzione						€ 600.000
Totale predefinito dei costi del materiale						€ 270.000
Nome del prodotto	Venditore	Costo del prodotto [€]	% post-consumo	% pre-consumo	Valore del contenuto riciclato [€]	Fonte d'informazione del contenuto riciclato
Acciaio strutturale	Acciaio Subito	€ 40.000	10,00%	85%	€ 21.000	Produttore
Aggregati cementizi	ABC CLS	€ 21.000	20,00%		€ 4.200	Produttore
Pannelli in truciolare	Trucioli s.n.c.	€ 4.000		100%	€ 2.000	Produttore
Pannelli in gesso	Gesso & Co.	€ 8.550		78%	€ 3.335	Produttore
Somma combinata del valore del contenuto di post-consumo + ½ pre-consumo (valore totale di contenuto di riciclato).						€ 30.535
Somma combinata del valore del contenuto di post-consumo + ½ pre-consumo, espressa come percentuale del costo predefinito totale (valore totale di contenuto di riciclato) (Equazione 2).						11,31%

Tab. 4 - Esempio di calcolo del contenuto riciclato (www.gbitalia.org)

5.4 Il Protocollo Breeam

BREEAM è una metodologia di valutazione della sostenibilità ambientale, sviluppata nel 1988 dalla Building Research Establishment (BRE). Si tratta di una tra le certificazioni più rilevanti a livello internazionale, ideata per monitorare, valutare e certificare la sostenibilità degli edifici. Il codice BREEAM è costituito da una serie di principi e requisiti strategici che definiscono un approccio integrato per la progettazione, la costruzione, la gestione, la valutazione e la certificazione dei differenti fattori che influiscono sull'impatto ambientale, sociale ed economico nell'intero ciclo di vita dell'edificio in esame. Per ottenere infatti la certificazione BREEAM è necessario adottare pratiche sostenibili non solo in fase di progettazione e costruzione degli edifici, ma anche attraverso i successivi processi di gestione e manutenzione.

Il metodo BREEAM può trovare applicazione sia per certificare nuove realizzazioni, sia progetti di ristrutturazione (*ESA engineering, 2020*).

Vi sono diversi standard che fanno parte di BREEAM:

- New Construction per nuovi edifici non residenziali;

- International New Construction per nuovi edifici residenziali e non residenziali;
- In-Use per migliorare le prestazioni degli edifici esistenti;
- Refurbishment per interventi di ristrutturazione e Communities per progetti di masterplan.

Le categorie di riferimento per la certificazione BREEAM sono:

- Energia (monitoraggio dell'energia, emissioni di CO2, uso di sistemi di trasporto efficienti, etc.);
- Uso del territorio e ecologia (valutazione del sito, impatto sull'ecologia del sito esistente, etc.);
- Acqua (controllo del consumo di acqua, attrezzature efficienti, et
- c.)
- Salute e benessere (relativi al comfort visivo, termico e acustico, qualità dell'aria interna, etc.);
- Inquinamento (monitoraggio dell'impatto dei refrigeranti, inquinamento luminoso notturno, inquinamento acustico, etc.);
- Trasporti (accessibilità dei trasporti pubblici, strutture per ciclisti, etc);
- Materiali (impatto del ciclo di vita, durata e resilienza, efficienza, etc.);
- Rifiuti (Gestione dei rifiuti di costruzione, etc.);
- Management (pratiche di costruzione responsabili, messa in servizio e consegna, etc).

La versione del 2016 di BREEAM propone alcune percentuali dei parametri di valutazione quali:

- Unclassified (<30%),
- Pass (>30%),
- Good (>45%),
- Very Good (>55%)
- Excellent (>70%)
- Outstanding (>85%)

Il processo di certificazione utilizzando il sistema BREEAM è formato da due fasi differenti: la prima fase consiste nel realizzare una valutazione in fase di progettazione dal quale viene prodotto un certificato intermedio; e una seconda valutazione in fase di realizzazione che si conclude con il rilascio di un certificato finale e un punteggio aggiuntivo.

BREEAM ha anche la flessibilità di adattarsi alle leggi e alle caratteristiche del paese di riferimento. I pesi sono determinati dal comitato di esperti del BREEAM sulla base delle informazioni fornite da professionisti ed enti locali (processo di ponderazione). Tramite l'approvazione, le normative locali possono essere utilizzate per sostituire gli standard normativi specificati nell'accordo, garantendo così l'adattabilità: se esistono standard equivalenti in uno stato, possono essere sottoposti a BREEAM e utilizzati per future certificazioni.

Tra i criteri complessivi, ben 6 sono dedicati ai materiali e altrettanti al tema rifiuti. Da sottolineare in particolare il criterio Wst 02 “*Recycled aggregates*”: per ottenere il credito è infatti richiesto che almeno il 25% degli aggregati utilizzati sia proveniente da materiali secondari o riciclati. I criteri richiesti per un pieno raggiungimento dell'obiettivo sono invece: una quantità totale di aggregato riciclato o secondario specificata superiore al 50% (in peso o in volume) dell'aggregato totale e che gli aggregati riciclati o secondari che contribuiscono al progetto non siano stati trasportati per più di 30 chilometri con trasporto su strada.



MR-
MANAGEMENT
Gestione

Incoraggiare l'adozione di pratiche di gestione sostenibile collegate alle attività operative per assicurare che gli obiettivi di sostenibilità siano fissati, monitorati e regolarmente implementati.



HEA - HEALTH
AND WELLBEING
Salute e Benessere

Gestire, monitorare e migliorare il comfort, la salute e la sicurezza degli occupanti, dei visitatori e di altri utenti.



ENE - ENERGY
Energia

Gestire e monitorare i consumi energetici, incoraggiare l'uso di apparecchiature che supportino un uso e una gestione sostenibile dell'energia.



TRA -
TRANSPORT
Trasporti

Effettuare un'implementazione di policy che registrino gli impatti collegati al trasporto, alla vicinanza dei servizi locali e che favoriscano l'utilizzo di trasporto alternativo.



WAT - WATER
Acqua

Gestire e monitorare i consumi di acqua all'interno dell'edificio e del sito per incoraggiare un consumo sostenibile.



MAT
MATERIALS
Materiali

- *Gestire e monitorare l'impatto ambientale degli acquisti, valutare i rischi per l'edificio e per gli occupanti associati alla sicurezza, al fuoco e ad altri eventi naturali.*



WST - WASTE
Rifuti

Incoraggiare e implementare policy e sistemi che riducano la produzione di rifiuti, migliorare i livelli di differenziazione e riciclaggio.



LE - LAND USE
Uso del Suolo

Gestire e monitorare l'impatto che le attività svolte nell'edificio hanno sull'ambiente circostante, incoraggiare un uso sostenibile del luogo, proteggere l'habitat e l'ecosistema.



POL
POLLUTION
Inquinamento

- *Prevenire, gestire, monitorare e controllare l'inquinamento associato alla posizione dell'edificio e al suo funzionamento.*



IN
INNOVATION
Innovazione

- *Supportare l'innovazione all'interno dell'industria delle costruzioni, attraverso il riconoscimento di benefici legati alla sostenibilità che non sono contemplati all'interno dello standard BREEAM.*

6. Il riciclo dei materiali da costruzione e demolizione

Considerevoli contributi di inerti da CDW provengono anche dalla produzione e prefabbricazione di elementi e componenti di edifici civili quali mattoni, piastrelle e elementi strutturali in cemento armato che si possono quindi considerare comprensivi di calcestruzzo, cemento e malte varie, conglomerati bituminosi, mattoni e blocchi di laterizio, elementi lapidei, terra, legname, metalli, plastica, gesso, prodotti ceramici, vetro, materiali compositi, materiali per isolamento termico e acustico. I più idonei al reimpiego in ambito costruttivo sono il calcestruzzo (costituito da calcestruzzi depurati dalle eventuali armature, scarti dell'industria dei manufatti in cemento, scarti della prefabbricazione civile) e macerie (costituite da inerti di risulta dalle demolizioni come laterizi e piastrelle, scarti dell'industria delle ceramiche e dei laterizi, frammenti di pavimentazioni stradali, sfridi di materiali lapidei provenienti da scavi). Per poter riutilizzare ed effettuare una valutazione affidabile del comportamento durante il suo funzionamento, il materiale deve provenire da uno speciale impianto di frantumazione e lavorazione, in modo da poter eliminare sostanze estranee o inquinanti e conferire al prodotto uniformità e stabilità nella composizione.

Oggi sono a disposizione numerosi dati sulle caratteristiche e sul comportamento di tali materiali che permettono di valutarli con la dovuta attenzione nella definizione di impasti e in varie soluzioni tecniche.

Questa tipologia di rifiuti non rappresenta peraltro nella maggior parte dei casi difficoltà di gestione dovute alla intrinseca qualità di essere pericolosa o presunta tale.

Occorre inoltre fare una distinzione basata sulla provenienza e sulla composizione dei CDW, che rientrano a far parte dei rifiuti speciali e appartengono al capitolo 17 dell'elenco europeo dei rifiuti.

PROVENIENZA	COMPOSIZIONE
Rifiuti da costruzione	Cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche
Rifiuti da demolizione	Terra e rocce
Rifiuti da costruzione e manutenzione di strade	Miscele bituminose
Terreno e rocce	Metalli, vetro, legno e plastica

Come viene descritto dal report prodotto da Anpar, nelle norme armonizzate europee l'aggregato riciclato è definito come “*un aggregato minerale risultante dal recupero di rifiuti di materiale inorganico precedentemente utilizzato nelle costruzioni*”.

Gli aggregati riciclati provenienti da rifiuti da costruzione e demolizione possono essere impiegati in opere dell'ingegneria civile, in lavori stradali e ferroviari e per la realizzazione di calcestruzzi.

Tra i prodotti realizzati con l'ausilio di aggregati riciclati e artificiali troviamo:

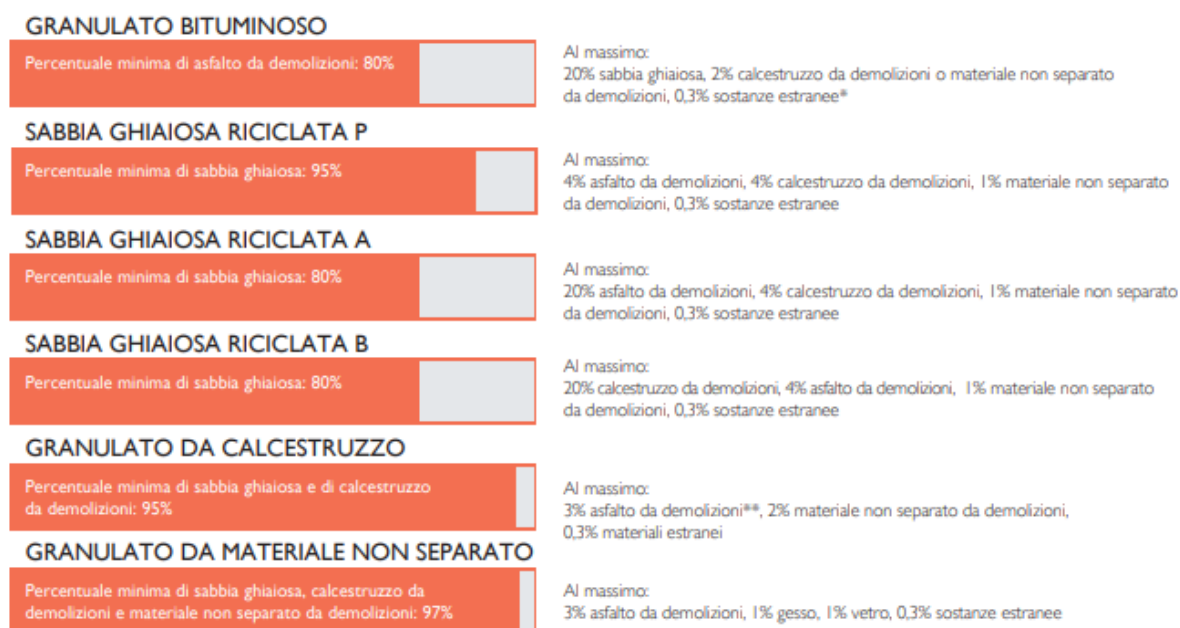
- corpo dei rilevati di opere in terra dell'ingegneria civile;
- sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali e di piazzali civili e industriali;
- strati di fondazione delle infrastrutture di trasporto e di piazzali civili e industriali;
- recuperi ambientali, riempimenti e colmate;
- strati accessori (aventi funzione anticapillare, antigelo, drenante, etc.);
- aggregato riciclato conforme alla norma armonizzata UNI EN 12620:2008 per il confezionamento di calcestruzzi con classe di resistenza $R_{ck} \leq 15$ Mpa, secondo le indicazioni delle norme UNI 8520-1 e UNI 8520-2.

Gli aggregati possono essere usati sia come prodotto finito, ad esempio nelle massicciate ferroviarie o nelle opere di protezione, sia come materiale grezzo per la manifattura di altri prodotti importanti per il settore delle costruzioni, come il calcestruzzo, i prodotti prefabbricati, l'asfalto (composto al 90% da aggregati), la calce ed il cemento.

I campi di applicazione degli aggregati si possono dividere in due principali categorie: applicazioni non legate, dove l'aggregato è utilizzato sciolto (costruzioni stradali, massicciate ferroviarie, etc.) ed applicazioni legate, dove la miscela contiene un agente legante, come il cemento, il bitume o una sostanza che ha proprietà leganti a contatto con l'acqua, come il cemento (calcestruzzi, malte, etc.).

Le direttive sulla composizione merceologica, i regolari controlli sulla qualità e le vincolanti dichiarazioni sui prodotti, permettono di avere dei materiali riciclati comparabili ai corrispondenti prodotti costituiti da inerti primari (Anpar, 2018).

REQUISITI DI QUALITÀ DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE RICICLATI:



*Per ragioni tecniche il granulato bituminoso lavato a caldo non può contenere sostanze estranee.

** Secondo le norme, il granulato da calcestruzzo impiegato per la produzione di calcestruzzo non può contenere materiale bituminoso di demolizione.

Fig. 5 - Requisiti di qualità dei materiali da costruzione riciclati (www.anpar.org)

6.1 Materiali riciclati e il risparmio di risorse naturali

L'impatto delle cave nei confronti del paesaggio è una delle questioni ambientali più importanti nel nostro Paese nel settore dell'ingegneria mineraria ed ambientale.

Nonostante la crisi edilizia, ci sono ancora 2.012 comuni con almeno una cava attiva sul loro territorio (il 25,1% dei comuni italiani, anche se in leggera diminuzione, pari a un quarto del totale), e quasi 1.000 distretti municipali hanno almeno una o due cave. Il Rapporto Cave prodotto da Legambiente stabilisce che sono addirittura oltre 1.680 quelli con almeno una cava abbandonata o dismessa e 1.150 con almeno 2 siti. Sono 53 i milioni di metri cubi estratti nel 2015 solo per sabbia e ghiaia, materiali fondamentali nelle costruzioni, ma elevati sono anche i quantitativi di calcare (22,1 milioni di metri cubi) e di pietre ornamentali (oltre 5,8 milioni di metri cubi). L'estrazione di sabbia e ghiaia rappresenta il 61% di tutti i materiali scavati in Italia; In questi anni è avvenuto un secondo cambiamento importante all'interno del settore con una differenziazione tra materiali inerti e di pregio. Mentre il prelievo di inerti ha subito la crisi del settore delle costruzioni (da cui è derivata la riduzione del numero

di cave, come delle imprese e degli occupati nel settore), le estrazioni di materiali lapidei hanno visto risultati record, con alcuni anni consecutivi di crescita.

Se in Europa non mancano esempi eccellenti di paesi realmente impegnati sul recupero dei materiali di costruzione, dall'Olanda che con il 98% dei materiali recuperati è la nazione più virtuosa, all'Irlanda (97%), alla Danimarca (92%), alla Germania (91%), l'Italia sarebbe invece solo apparentemente in linea con gli obiettivi UE. Stando ai dati ufficiali del Ministero dell'Ambiente e dell'Istituto superiore per la protezione ambientale, in Italia il tasso di recupero di materia dai rifiuti da costruzione e demolizione si collocherebbe oggi ben al di sopra del 70% : *“Nel 2018, la produzione totale di rifiuti da operazioni di costruzione e demolizione, escluse le terre e rocce e i fanghi di dragaggio, si attesta a circa 45,8 milioni di tonnellate (+8,4% rispetto al 2017), mentre il recupero complessivo di materia raggiunge 35,5 milioni di tonnellate, corrispondente ad una percentuale del 77,4%”*. Tuttavia secondo Legambiente ogni anno in Italia non si riciclerebbe in realtà più del 9% - 10% dei rifiuti edili generati. Questo perché nelle statistiche ufficiali vengono incluse solo le imprese di una certa grandezza perché il calcolo della percentuale di riciclo viene effettuata dall'Ispra (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) attraverso le informazioni contenute nel Modello unico di dichiarazione ambientale (Mud), ma la sua compilazione è obbligatoria solo per i soggetti che effettuano operazioni di recupero e smaltimento di tali inerti, mentre le imprese di costruzione sono esentate, e specialmente in Italia esse rappresentano una quota decisamente significativa. Gran parte dei rifiuti da C&D non è quindi dichiarata e verrebbe ancora oggi abbandonata illegalmente sul territorio.

In alcune aree del Paese il tasso di illegalità nello smaltimento dei rifiuti di cantiere raggiungerebbe addirittura il 50% del totale. Esistono tuttavia anche esempi virtuosi come quello della Provincia Autonoma di Trento. Ogni anno si producono oltre 800 mila metri cubi annui di aggregati riciclati, mentre in Veneto si arriva addirittura ad 1 milione e 300 mila metri cubi annui.

Sarebbe quindi auspicabile che anche il nostro paese scegliesse globalmente la strada del riciclo, seguendo i Paesi europei che intorno a una moderna gestione delle attività estrattive hanno creato un settore economico capace di legare ricerca e innovazione nel recupero dei materiali.

Nei casi europei in cui ciò è stato fatto, come nel Regno Unito, si è intervenuto da subito tassando seriamente il conferimento dei rifiuti C&D in discarica, aumentando i

canoni di concessione ed incentivando le aree di riciclo dei materiali creando in questo modo nuovi posti di lavoro.

In Danimarca, invece, da oltre 20 anni ci si è posto il problema di come ridurre le estrazioni da cava e promuovere il recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione, con una politica di tassazione che arriva a far pagare 50 € a tonnellata per il conferimento in discarica degli inerti. Un risultato che ha premiato, visto che oggi si fa ricorso per oltre il 90% ad inerti riciclati invece che di cava.

Tabella 3.5.3 - Tasso di recupero di materia dei rifiuti da costruzioni e demolizioni, anni 2015 - 2018

2015	2016	2017	2018
76,1%	76,2%	75,1%	77,4%

Fonte: ISPRA

Tab. 5 - Tasso di recupero di materia dei rifiuti da costruzioni e demolizioni
(www.ispraambiente.gov.it)

Ridurre il prelievo di materiali e l'impatto delle cave nei confronti del paesaggio è quanto mai urgente e oggi anche possibile per gli inerti. L'obiettivo è di spingere la filiera del riciclo, che garantisce almeno il 30% di occupati in più a parità di produzione, e che può garantire prospettive di crescita molto più importanti e arrivare a interessare l'intera filiera delle costruzioni (dalle infrastrutture all'edilizia, dalle ceramiche ai materiali da costruzione, etc.), tutto ciò è fondamentale se si pensa che occorrono fino a 400 tonnellate di inerti per costruire una casa, 30.000 per un chilometro di strada e 300.000 per uno stadio. (*Legambiente Rapporto Cave 2017, ISPRA 2020*)

TABELLA RIASSUNTIVA, LA SITUAZIONE NELLE REGIONI ITALIANE

Regioni e Province Autonome	Cave Attive	Cave Dismesse e/o Abbandonate	Piani Cava (regionali e/o provinciali)
Abruzzo	265	640	NO
Basilicata	63	35	NO
Pr. Bolzano	102	33	NO
Calabria	237	49	NO
Campania	48	312	SI
Emilia-Romagna	177	63	SI
Friuli Venezia Giulia	64	-	NO
Lazio	260	475	SI
Liguria	104	380	SI
Lombardia	653	2.965	SI
Marche	181	1.002	SI
Molise	52	17	NO
Piemonte	394	224	NO*
Puglia	396	2.522	SI
Sardegna	303	492	NO
Sicilia	420	691	SI
Toscana	380	1.208	SI
Pr. Trento	151	1.107	SI
Umbria	83	77	SI
Valle d'Aosta	31	20	SI
Veneto	388	1.102	NO
TOTALE	4.752	13.414	

Elaborazione Legambiente, su dati Regioni, ISPRA, ISTAT

*In Piemonte esistono al momento 3 Piani Provinciali (di cui 2 solamente adottati)

Tab. 6 - Cave attive, dismesse e piani cava nelle regioni italiane (www.legambiente.it)

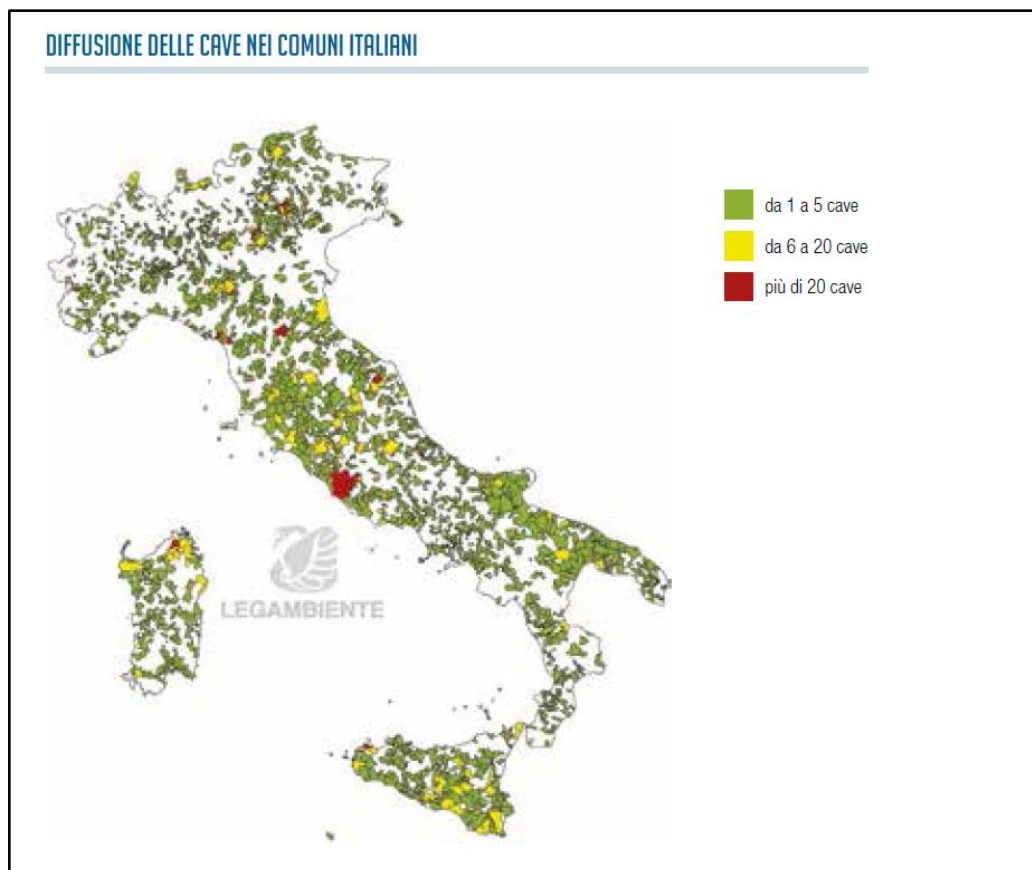


Fig. 6 - Diffusione delle cave nei comuni italiani (www.legambiente.it)

La Fédération Internationale du Recyclage (F.I.R) ha calcolato come ogni tonnellata di rifiuti che destinata in discarica occupi circa 0,6 m³ di spazio su un terreno. Infatti, raggiungere il 70% dei materiali riciclabili produrrà oltre 23 milioni di tonnellate di materiale, il che interromperà la produzione di almeno 100 cave di sabbia e pietra per un anno.

Anche terre esauste, sabbie e scorie di fusione rappresentano una valida alternativa all'utilizzo di inerti "naturali" in molte applicazioni. Numerosi studi hanno evidenziato l'assoluta idoneità, da un punto di vista tecnico, dell'utilizzo di questi materiali per la realizzazione di rilevati e sottofondi stradali ed in altre applicazioni civili. Ad esempio le sabbie derivate dagli scarti di fonderia potrebbero avere un riutilizzo virtuoso come materiali secondari, attraverso la miscelazione e movimentazione della sabbia. Il risultato si rivela positivo sui costi di produzione e sull'ambiente, gli scarti da smaltire si riducono del 95% con un beneficio sui costi per l'acquisto di sabbia nuova pari a circa il 90%. La riduzione dei volumi di sabbia esausta è nell'ordine del 85% - 95% mentre il residuo di sabbia di scarto scende al 5 - 15% del volume di sabbia esausta immessa nel rigeneratore. La riduzione dei costi di smaltimento è altrettanto elevata. I vantaggi in termini ambientali per la collettività sono notevoli grazie al minor ricorso a tecniche tradizionali di smaltimento quali la discarica da un lato ed il minor utilizzo di materiali di scavo dall'altro.

Passando ad esaminare esempi concreti di interventi sul nostro territorio che comportano un sensibile risparmio delle risorse naturali, una delle infrastrutture più importanti realizzate dal recupero di rifiuti di lavorazioni industriali e di materiali da demolizione e costruzione è il "Passante di Mestre" nella provincia di Venezia, ovvero un tratto autostradale dell'A4, lungo 32,3 km che consente di evitare l'attraversamento dell'ex tratto urbano dell'A4. L'utilizzo di "ECONcrete" ha garantito un risparmio di materiale naturale del 71%, una riduzione delle deformazioni del materiale sottoposto a sollecitazioni veicolari variabile dal 10 al 37%, un aumento della vita utile della strada pari al 88% e un sensibile abbattimento dei costi complessivi dell'opera. I dati che riguardano il "Passante di Mestre" parlano chiaro: il calcolo del volume del materiale da cava risparmiato è di circa 320.000 m³, corrispondente alla produzione annuale di una cava di medie dimensioni. Ad affiancarsi a questo già enorme beneficio ambientale ci sono i viaggi di camion per il trasporto del materiale che sono stati quindi evitati, circa 40.000, come se per un intero giorno non circolasse nel "Passante di Mestre" alcun mezzo e di conseguenza un deciso risparmio di emissioni di CO₂ ottenuto dalla minor quantità di energia elettrica per l'estrazione e la lavorazione di

materiale inerte, dal minor utilizzo di conglomerato bituminoso e dal minor numero di viaggi di trasporto effettuati, che corrisponde a circa 11.400 tonnellate di CO₂.

Altro interessante progetto che ha permesso un notevole risparmio nell'uso di materiali vergini e che ci fa comprendere come investire sul riciclo permetta un significativo risparmio delle risorse naturali è quello della "Variante di Canali" in provincia di Reggio Emilia. Il progetto nasce con lo scopo di deviare parte del traffico dalla cintura urbana, verso l'imbocco dell'autostrada A1. A seguito di una prima stesura del progetto con criteri tradizionali, è stata realizzata una variante progettuale tesa a ridurre l'impatto ambientale mediante la scelta di materiali, adottando modalità costruttive e processi operativi sostenibili. Si tratta della costruzione di un semi-anello di 3 km di sviluppo per una sezione trasversale media di 10,5 metri per una superficie di 31.500 m³ in totale. Il progetto originale prevedeva conglomerati a caldo per uno spessore medio di 25 centimetri con una richiesta di inerti vergini per oltre 18mila tonnellate. Grazie alla variante di progetto il materiale vergine necessario è stato di 5.071 tonnellate, con un risparmio di oltre 13.000 tonnellate. La base bitumata è stata realizzata con inerti interamente di riciclo (fresato stradale) legati a freddo con emulsioni bituminose per riciclaggio alla temperatura di 60-70°C senza emissione di fumi e realizzazione in situ.

Inoltre il risparmio energetico nella fase di realizzazione è stato quantificato in 40.839 kWh grazie alla variante adottata in termini di riduzione degli spessori, lavorazioni a freddo, minori trasporti. Di conseguenza anche la CO₂ non emessa è stata notevole: 23.687 Kg.

A questi dati vanno aggiunti quelli del risparmio energetico e della CO₂ evitata grazie all'aumento della vita utile prevista, e valutati rispettivamente in 28.620 kWh e 16.600 Kg

A sei anni dall'entrata in esercizio della pavimentazione non sono presenti deformazioni di sagoma, né interventi manutentivi di alcun tipo. Inoltre la minore emissione di rumore da rotolamento è quantificabile in 2 dB rispetto ad una pavimentazione realizzata nello stesso periodo e presa a riferimento. Anche gli spazi di frenata necessari risultano inferiori di circa il 20% rispetto alla pavimentazione di riferimento (*Legambiente, Rapporto RECYCLE 2017*).

6.2 Materiali riciclati e il risparmio di energia e risorse idriche

Il settore dell'edilizia è riconosciuto come una dei principali contributori all'inquinamento e al degrado ambientale, essendo responsabile del 40% di tutta l'energia globalmente consumata, con numeri ancora maggiori nei paesi in via di sviluppo e contribuendo per il 40% alle emissioni complessive di gas serra. Intervenire sul settore delle costruzioni è quindi una strategia chiave per la riduzione dell'inquinamento ambientale, attraverso un risparmio delle risorse materiali, dell'acqua e dell'energia.

La scelta dei materiali da costruzione impatta per il 10-20% sul consumo energetico complessivo di un edificio, percentuale solo apparentemente limitata: i materiali da costruzione pesano sul dispendio energetico in ogni momento della vita di un edificio, dall'estrazione dei materiali costruttivi, alla loro lavorazione, al trasporto, all'assemblaggio e ovviamente durante tutta la vita dell'edificio stesso, senza tralasciarne la demolizione e il trasporto dei materiali stessi in discarica.

L'utilizzo di materiali riciclati, specie se di provenienza locale e con una buona efficienza energetica può quindi ridurre in modo particolarmente significativo i costi energetici di un edificio, potendo ridurre i costi di "energia grigia" anche del 215%.

Al fine di raggiungere un miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, anche l'isolamento termico può giocare un ruolo centrale, potendo abbattere fino al 65% dei consumi energetici domestici. Alcuni studi hanno mostrato come l'utilizzo di specifici materiali riciclati comporti un miglioramento dell'isolamento termico degli edifici e un miglioramento delle performance energetiche complessive: l'aggiunta di alcuni materiali, come riportato in tabella, dotati di ridotta conducibilità termica comporta infatti una minore dispersione di calore.

Material	Thermal conductivity (W/mK)	Material	Thermal conductivity (W/mK)
Glass foam	0.045	Linters textile waste (WL)	0.039
Concrete with 100% of CR (as aggregate)	0.27	TetraPack (TP)	0.06 (thickness 5.68 mm)
Concrete with 100% of FCR (as aggregate)	0.34	Recycled cotton	0.036-0.044
Recycled glass fiber	0.031-0.05	Wood waste	0.048-0.055
Recycled PET	0.034-0.039	Lightweight 50% rubber waste particles	0.47
Recycled textile fibers	0.041-0.053	Lightweight WBA+RH	0.05
Wooven fabric waste (WFW)	0.044	Lightweight based on FA	0.087
Woove fabric subwaste (WFS)	0.103	Solid waste TPM/corn peel ratio	0.14 (25:75) - 0.25 (100:0)
Tablecloth textile waste (WT)	0.033	Linters textile waste (WL)	0.039

Tab. 7 - Conduktività termica dei materiali ottenuti da rifiuti (www.sciencedirect.com)

L'edilizia è anche responsabile del 16% del consumo globale di acqua, giocando quindi un ruolo rilevante sulla sua carenza in alcune aree del mondo. L'estrazione dei

materiali e la fase produttiva hanno un peso particolarmente significativo sull'utilizzo di questa preziosa risorsa. L'utilizzo di materiali riciclati può quindi ridurre i consumi idrici: ad esempio la sostituzione nel calcestruzzo del cemento Portland con le ceneri volanti è in grado di ridurre del 20% il consumo complessivo di acqua.

Un altro impatto importante delle discariche oltre all'inquinamento idrico è la riduzione della fertilità dei terreni, con deterioramento delle produzioni agricole. Alcuni studi hanno mostrato come 1000 m² di rifiuti edili destinati alla discarica comportino il consumo di 1,5 chiloni di acque sotterranee provocando un deterioramento della fertilità di 52,5 kilogrammi di terreno ogni anno, senza considerare come la presenza di olio, carburanti e solventi potrebbero penetrare nelle falde acquifere determinando inquinamenti molto più significativi e protratti nel tempo.

6.3 Materiali riciclati e la riduzione delle emissioni di gas serra

Attraverso il riciclo di materiali da costruzione, è ridotta significativamente anche la produzione di CO₂, altrimenti rilasciata in atmosfera: basti pensare alla riduzione dei trasporti dei materiali estratti da cava che avviene spesso su grandi distanze. Anche il conferimento in discarica ha un costo in termini di emissioni: per ogni tonnellata di rifiuto da costruzione smaltito in discarica, vengono rilasciati 90 kilogrammi di CO₂ in atmosfera.

Altri studi hanno mostrato come la decomposizione dei rifiuti nelle discariche comporti anche il rilascio di quantità significative di gas metano, 21 volte più dannoso della CO₂ in termini di impatto sul riscaldamento globale. Lavorare per ridurre gli sprechi appare quindi una priorità non più derogabile.

Se si guarda ad esempi più specifici, l'industria del cemento contribuisce in modo significativo all'emissione di gas serra, specialmente CO₂, e consuma il 12 - 15% dell'energia complessiva utilizzata dalle industrie. Addirittura il 7% della CO₂ emessa nel mondo risulta direttamente o indirettamente collegata all'industria del cemento (circa 1,8 miliardi di tonnellate ogni anno): i processi di calcinazione e il consumo di carburanti necessari per mantenere alte temperature nei forni giocano a tal proposito un ruolo centrale. La riduzione dell'emissione di CO₂ nell'industria del cemento appare quindi sempre più necessaria. Un interessante studio ha posto queste considerazioni nella realtà giapponese, dove si stima vengano emesse 0,725 tonnellate di CO₂ per ogni tonnellata di cemento prodotta. Lo studio ha calcolato le emissioni di

CO₂ valutando percorsi alternativi, come il riciclo dei materiali. Solo in Giappone, dove il cemento riciclato rappresenta uno 0,5-9,1% del cemento totale prodotto, i percorsi di riciclo permettono il risparmio di 0,06-0,72 milioni di tonnellate di CO₂ altrimenti emesse in atmosfera.

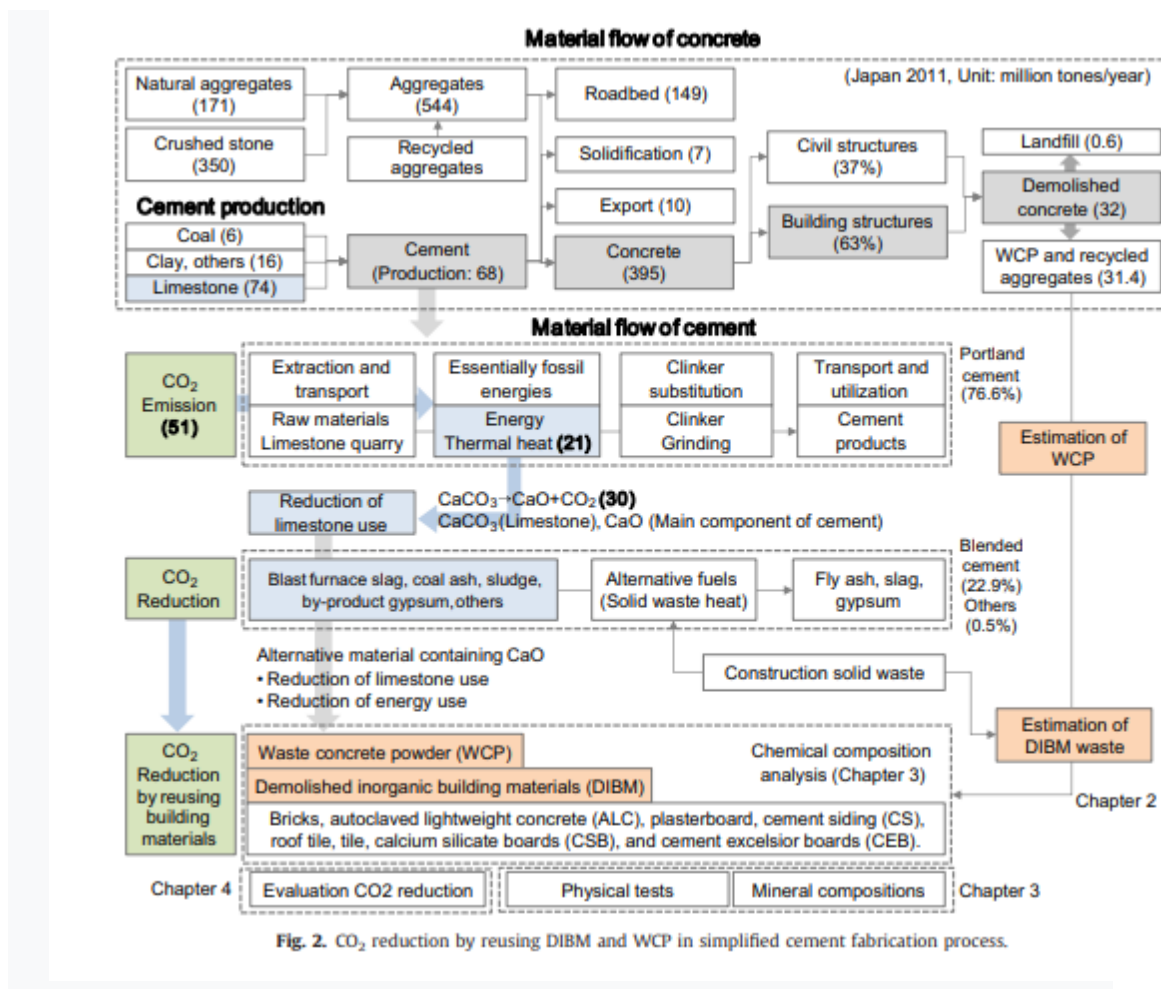


Fig. 7 - Riduzione di CO₂ nei processi di produzione del cemento (www.sciencedirect.org)

La Carbon Footprint è un parametro utilizzato per stimare le emissioni di gas serra espresse in kilogrammi di CO₂ equivalente generate da un prodotto, servizio, organizzazione ed è stata applicata anche alla gestione dei rifiuti da cantiere. Se per esempio inviassimo in discarica 2,8 kg di cartongesso, determineremmo il rilascio di 1,3 KgCO₂e. Se la stessa quantità di cartongesso fosse invece indirizzata verso un percorso di riciclo, verrebbe evitata l'emissione di 2 KgCO₂e.

Alcuni studi hanno cercato di stimare l'impatto di ciascuna scelta in termini di materiali sulla Carbon Footprint di un edificio, in uno studio scandinavo l'utilizzo di prodotti in legno (nell'esempio riportato si tratta di un'azienda con ampia disponibilità

locale del materiale) impatterebbe in modo significativo sulla riduzione di emissioni. (meno 73.3 tonnellate di CO₂-eq).

Valutazioni come queste mostrano una sempre più diffusa sensibilità da parte delle aziende nell'individuare strumenti e parametri alternativi ed ecosostenibili nella scelta delle materie prime in edilizia.

Table 5 LCA Results of GWP Impact Category for each reuse product.

	Concrete	Windows	Wood
Final results of primary-based product (t CO ₂ -eq)	271	72.5	73.3
Final result of secondary-based product (t CO ₂ -eq)	260	16.5	73.3
CSP (t CO ₂ - eq)	11	56	n.a.
CSP (%)	4%	77%	n.a.

Tab. 8 - Potenziale di riscaldamento globale per alcuni prodotti riutilizzati (www.sciencedirect.org)

In un altro studio, 216 miscele di calcestruzzo sono state analizzate al fine di individuare la soluzione migliore da un punto di vista ambientale. Le valutazioni hanno mostrato come il cemento Portland sia responsabile di un maggior impatto ambientale, mentre la presenza di super fluidificanti ha comportato una riduzione della quantità complessiva di cemento richiesta. Interessante notare come le scelte a migliore sostenibilità ambientale non fossero associate necessariamente a maggiori costi. Lo studio ha individuato nel calcestruzzo con maggior materiale di riciclo come ad esempio le ceneri volanti, una riduzione più significativa delle emissioni di gas serra. L'utilizzo di aggregati riciclati è stato quindi proposto come percorso idoneo per mitigare il riscaldamento globale.

LCI	Unit	Raw Material Extraction	Natural Aggregates Production
Electric energy consumption	[kWh/t]	-	1.85
Diesel consumption	[l/t]	0.40	0.50
Water consumption	[l/t]	-	0.45

Tab. 9 - Inventario relativo all'estrazione di materie prime (www.sciencedirect.org)

Sempre considerando la realtà italiana e allontanandoci per un momento dal riciclo di CDW, è possibile analizzare come aumentando la quantità di pneumatici fuori uso recuperati e utilizzati fino a raddoppiarla, diventerebbe possibile riasfaltare 26.000 km di strade. Considerando che i materiali a base di petrolio non vengono più utilizzati, i risparmi energetici ottenuti supereranno i 400.000 MWh o consumeranno più di due anni in città come Reggio Emilia (riduzione delle emissioni di CO₂ di 225.000 tonnellate).

6.4 Materiali riciclati e la riduzione delle emissioni acustiche

Anche il rumore può essere considerato un significativo fattore di impatto ambientale, in grado di incidere in modo importante sulla qualità della vita dei cittadini residenti nelle adiacenze di importanti arterie e snodi di traffico. A tal proposito, a Merano, in provincia di Bolzano, sono stati realizzati numerosi lavori di riqualificazione della pavimentazione stradale esistente nell'ambito dei piani di risanamento acustico della Provincia per un totale di 30.000 metri quadrati. L'impatto della rumorosità da traffico sull'ambiente e le abitazioni circostanti era rilevante, ed in alcuni casi si sono rilevati livelli di incidenza del rumore superiori ai minimi di legge anche nelle ore notturne. L'intervento è stato scelto dalla Provincia di Bolzano, in alternativa alle previste barriere anti-rumore di 3 metri di altezza rivelatesi troppo costose, impattanti sull'ambiente circostante e fonte di potenziale pericolosità considerata la presenza di incroci a raso sui quali avrebbero limitato la visibilità. Il costo delle barriere acustiche (per una vita utile prevista in 30 anni) era di 60 euro/anno mentre il costo della pavimentazione Asphalt Rubber di tipo GAP nei 30 anni presi a riferimento, considerato il rifacimento ogni 5 anni per garantire nel periodo in esame l'abbattimento del rumore generato dal traffico veicolare di almeno 3 dB rispetto ad una pavimentazione tradizionale, è di 35 euro/anno. Si tratta di un risparmio di 125.000 euro.

L'asfalto Rubber è composto da una parte di asfalto regolare misto a frammenti di gomma a base di pneumatici riciclati. La pavimentazione allo stato attuale non presenta deformazioni né interventi manutentivi.

Nel caso della A24, nota come “Strada dei Parchi” e che collega Roma a Teramo, i lavori hanno previsto una pavimentazione sperimentale per testare le prestazioni

fisico/meccaniche, di emissione di rumore da rotolamento generato dal traffico e la riduzione degli spazi di frenata, in ambito autostradale. La superficie complessiva interessata è stata di 47.000 metri quadrati con un conglomerato di tipo OPEN (semi drenante e fonoassorbente).

L'esecuzione dei due tratti sperimentali ha confermato le caratteristiche proprie di questo tipo di pavimentazioni, assicurando un abbattimento del rumore da rotolamento di oltre 3 dB e la riduzione degli spazi di arresto anche in condizioni di bagnato di circa il 25% rispetto ad una pavimentazione tradizionale coeva. Allo stato attuale la pavimentazione non presenta difettosità di sagoma né ha richiesto interventi manutentivi.

I conglomerati di tipo OPEN sono ricavati da polverino di gomma, prodotto con pneumatici riciclati ed hanno più spiccate caratteristiche funzionali grazie alla elevata percentuale di vuoti residui che rende possibile il drenaggio dell'acqua meteorica. Tale porosità riduce anche la vibrazione dello pneumatico e ne dissipa l'energia da impatto risultando quindi "fonoassorbente".

Un ulteriore intervento effettuato nei pressi di Rolo, nella provincia di Reggio Emilia, ha riguardato circa 8.000 m². La tecnologia impiegata in questo caso è DRY, con un conglomerato di granulometria 0/14 mm, realizzato con bitume modificato con polimeri SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) e additivi per la riduzione delle temperature di produzione e stesa, non superiori a 165 °C e 150 °C rispettivamente ed aggiunta di polverino di gomma da PFU (Pneumatici Fuori Uso) di granulometria 0/4 dmm a fine processo di muscolazione.

La pavimentazione sperimentale a bassa temperatura ha dimostrato di mantenere le caratteristiche tipiche di capacità drenante associando a queste ultime una buona riduzione del rumore generato dal rotolamento da traffico veicolare (-2 dB rispetto ad una pavimentazione tradizionale coeva) ed una riduzione degli spazi di arresto stimata del 25%.

La posa del conglomerato è avvenuta a temperatura non superiore a 150 °C con effetti benefici in ordine alla ridotta emissione di fumi ed emissioni di cattivi odori tipiche di soluzioni di applicazione a temperature standard (superiori di 30/40°C) (*Legambiente Recycle 2017*).

6.5 Materiali riciclati e i possibili impatti sulla salute

Dal momento che le persone trascorrono almeno il 90% del loro tempo in ambienti chiusi e l'aria indoor è responsabile del 90% degli inquinanti respirati, i materiali da costruzione possano impattare in modo significativo sulla salute umana, potendo giocare un ruolo anche nello sviluppo di patologie gravi come il cancro (si pensi all'amianto o alla formaldeide), alterazioni della funzionalità polmonare o anche la sick building syndrome. L'utilizzo di materiali da costruzione ben selezionati, come materiali rispettosi dell'ambiente, può invece giocare un ruolo positivo sulla salute umana, sia psicologica che fisica.

Un esempio di come l'utilizzo di materiali riciclati possa impattare direttamente sulla salute viene da uno studio condotto in India sull'estrazione del marmo. La produzione di marmo dalle cave prevede il taglio, la lucidatura e la finitura. Durante questi processi la massa originale perde circa il 25% sotto forma di rifiuti come polvere di marmo e fanghi di marmo.

Questi scarti vengono rilasciati in atmosfera o riversati su terreni, spesso inalati da esseri umani e animali. Gli studi indicano che le persone esposte a particelle di marmo hanno un aumento del rischio di soffrire di bronchite cronica, asma, compromissione generale delle funzioni polmonari e infiammazione nasale. La diffusione di particelle di polvere di marmo sui campi agricoli vicini e nei serbatoi contamina l'acqua, la vita acquatica, il suolo, gli ortaggi e altre risorse naturali.

Ad oggi in India si stimano ancora 1931 megatonnellate di marmo naturale da sfruttare: intervenire attraverso una valorizzazione di percorsi alternativi all'estrazione appare una scelta obbligata anche per tutelare la salute dei cittadini.

6.6 Il riutilizzo di materiali e i possibili vantaggi economici

Nonostante in linea teorica vi siano numerosi vantaggi economici derivanti dal riutilizzo dei materiali da costruzione come la riduzione dei costi complessivi di smaltimento, la riduzione dei costi di trasporto, la riduzione dei costi di nuovi materiali vergini, la riduzione dei costi di manodopera; il riciclo dei CDW è ancora considerato un mercato di nicchia, non sussistendo ad oggi tutte le condizioni necessarie per un uso massivo di queste materie prime secondari. Le cause sono differenti: dalla mancanza di fiducia da parte dei consumatori, al costo talvolta superiore rispetto a

componenti equivalenti prodotti con materiale vergine o perché, semplicemente, inviare in discarica i rifiuti rimane ancora un'opzione economicamente vantaggiosa. Giocano quindi un ruolo sfavorevole la mancanza di regolamentazioni ed incentivi adeguati che rendano meno favorevole lo smaltimento in discarica o puniscano adeguatamente gli smaltimenti illegali e la carenza di esperienza tecnica e professionale in un settore ancora non pienamente sviluppato. La fattibilità economica di un progetto di riciclaggio dipende ovviamente dal fatto che il costo aggiuntivo (tempo, impegno e risorse / attrezzature) associato alle attività di riciclaggio sia inferiore ai costi evitati (manodopera, trasporto, conferimento, manutenzione, tasse). L'economia del riutilizzo e del riciclaggio dei materiali da costruzione è ampiamente favorita dai seguenti fattori: presenza abbondante e costante di macerie da demolizione, elevati costi di conferimento in discarica delle stesse, facile accesso per camion nei cantieri e pronto mercato dei materiali secondari. Il costo aggiuntivo di preparazione, lavorazione, ispezione, stoccaggio e vendita dei materiali da costruzione può comportare in alcuni casi costi di produzione superiori a quelli materiale vergine tradizionale. Si rende quindi necessario di volta in volta effettuare un'analisi economica approfondita per determinare se un progetto debba essere sottoposto o meno a un'operazione di riciclaggio.

È tuttavia importante sottolineare come rivalutare i materiali che attualmente vengono considerati semplicemente scarti significa creare nuovi modelli di filiera produttiva. L'economia circolare infatti rafforza la filiera corta e crea un'identità locale basata sul valore delle materie: l'utilizzo di materiali provenienti da filiere corte (es. legno, sabbia, materiali di riciclo etc.) può avere un contributo importante nel potenziare economie locali determinando la riduzione nei paesi in via di sviluppo di vulnerabilità economiche diffuse. L'utilizzo di materiali locali può abbattere i costi complessivi di costruzione di almeno il 60%.

La domanda di materiali da costruzione è andata progressivamente crescendo dal 1990 e ci si aspetta continui ad aumentare per la spinta all'urbanizzazione e all'industrializzazione dei paesi in via di sviluppo. Il costo dei materiali contribuisce intorno al 50-60% al costo complessivo di un progetto di costruzione, quindi qualsiasi riduzione dei rifiuti prodotti comporta importanti risparmi. Una maggior attenzione alla riduzione dei rifiuti durante la costruzione può essa stessa giocare un ruolo significativo nell'abbattimento delle spese: si calcola infatti come il 20-30% del peso totale dei materiali da costruzione sia di fatto sprecato.

Alcuni studi hanno considerato gli impatti sia diretti che indiretti di una maggiore diversione dei rifiuti edili dalle discariche verso strategie di recupero/riciclo, con impatti positivi sulla creazione di opportunità di lavoro e per le attività economiche delle industrie correlate. Il mercato dei materiali riciclati e riutilizzati si è ampliato negli anni soprattutto in paesi sviluppati come il Canada, gli Stati Uniti e il Regno Unito. Innanzitutto, dal punto di vista del lavoro e delle attività imprenditoriali, i vantaggi di questa visione sono evidenti: stabilendo una catena di approvvigionamento dedicata, il numero di posti di lavoro e di imprese aumenterà.

Materiali da costruzione riciclabili come muri a secco, cartone, calcestruzzo e roccia sono esempi tipici di prodotti che generano maggiori profitti (vendita di materiali per altre attività di costruzione) per gli appaltatori di demolizioni. Anche il gesso presenta significative opportunità di mercato. Le innovazioni tecnologiche nel settore dei materiali riciclati porteranno inevitabilmente ad una maggiore produttività ed efficienza.

In uno studio scandinavo, un'azienda edile impegnata nello sviluppo di economie circolari, ha sviluppato un nuovo business recuperando e riutilizzando tre tipologie di materiali dai rifiuti di costruzione: legno, calcestruzzo e vetro. I materiali sono stati impiegati come nuovi prodotti nello sviluppo di quartieri residenziali tra novembre 2017 e ottobre 2018. Sono stati quindi considerati i vantaggi e gli svantaggi economici di questa soluzione rispetto all'uso di materiali vergini, sia per la singola azienda che per la collettività evidenziando la creazione di nuovi posti di lavoro.

I vantaggi economici per l'azienda costruttrice sono risultati complessivamente modesti: gli incentivi per il riuso/riciclo hanno infatti coperto solo una parte dei costi (1% legno, 4% finestre, 11% calcestruzzo) che però è atteso siano significativamente minori con un progressivo futuro sviluppo del mercato. Una maggior efficienza tecnica e una più solida economia di scala permetterebbero infatti ai prezzi di diventare più competitivi rispetto a quelli di materiali vergini, spesso provenienti da distanze elevate. Una criticità è risultata nelle lavorazioni che i materiali da riuso/riciclo hanno dovuto subire per poter rientrare in parametri idonei al loro riutilizzo ovvero parametri appositamente riguardanti la sicurezza del materiale stesso e l'efficienza energetica.

Il numero di ore lavorative generate dai processi di recupero di materiali ha permesso di stimare la creazione di 18,4 posti di lavoro in più rispetto all'utilizzo di materiali vergini (corrispondenti a 18,4 impieghi full-time per almeno sei mesi). In particolare il recupero del legno da solo ha creato ben 13,2 posti di lavoro: le tavole da riciclo sono in genere più corte e richiedono maggior tempo di installazione oltre agli

interventi di profilatura. Lo studio conclude che il riuso di materiali, per poter divenire un percorso largamente seguito, deve diventare anche economicamente conveniente, in grado di mettere sul mercato materiali a prezzi competitivi tali da raggiungere tutti gli standard qualitativi necessari.

I vantaggi che i materiali da recupero possono garantire vanno tuttavia inquadrati in un ragionamento più ampio di economia circolare, grazie alle loro ricadute sull'occupazione, sul benessere ambientale, sulla qualità della vita delle persone.

Products	Total hours spent	Months full-time work created (37 hrs per week)	Jobs created (eq. to half a year of full-time employment)
Windows	2 500	16.9	2.8
Concrete	2 170.5	14.7	2.4
Wood (cladding and floors)	11 700	79.1	13.2
TOTAL	16 370.5	110.6	18.4

Tab. 10 - Posti di lavoro create durante il progetto (www.sciencedirect.org)

6.7 Materiali riciclati: i punti critici ancora da superare

Nonostante sia evidente dalle esperienze riportate dalla letteratura come oggi non esistano più motivi tecnici, prestazionali o economici che possano essere utilizzati come scuse per non investire su materiali provenienti dal riciclo nelle costruzioni, permangono ancora alcuni punti critici sui quali occorre fare alcune considerazioni, specialmente a livello tecnico. Uno studio condotto da *Morfini L. (2016)* ha messo in evidenza alcune criticità, che vengono riportate qui di seguito:

- **La presenza di sostanze inquinanti**

Le sostanze inquinanti eventualmente presenti negli aggregati da riciclo possono essere dovute alla composizione naturale dei materiali ma possono anche essere state aggiunte come additivi nel processo di manifattura; nella maggior parte dei casi esse sono localizzate nei trattamenti protettivi superficiali.

Le sostanze indesiderate includono le malte di calce e gesso impiegate nell'intonaco, l'asfalto, il vetro e l'alluminio impiegato per la realizzazione degli infissi, materiali organici, piastrelle, laterizi, materiale refrattario, cloruri, etc. La presenza di queste sostanze nell'aggregato riciclato può comportare una perdita di resistenza meccanica del calcestruzzo.

Secondo alcune esperienze internazionali, nessuna penalizzazione della resistenza meccanica sarebbe registrata quando gli aggregati vengono contaminati da piastrelle e vetri di finestre, anche se un eccessivo quantitativo di vetri potrebbe determinare il degrado a lungo termine del calcestruzzo.

La presenza del bitume nell'aggregato può penalizzare la resistenza meccanica a compressione.

Alcune sostanze organiche possono rallentare il processo di idratazione del cemento oppure accentuare il problema dell'instabilità dimensionale del calcestruzzo sottoposto a cicli alternati di asciutto/bagnato.

Altre sostanze organiche, come ad esempio le vernici, possono favorire l'intrappolamento di eccessivi quantitativi di aria nel calcestruzzo con la conseguenza di penalizzare fortemente le prestazioni meccaniche. La presenza di terreno vegetale e di frazioni argillose finissime è indesiderabile al pari di quanto avviene per gli elementi lapidei naturali. Le sostanze limo-argillose infatti possono ridurre l'aderenza tra matrice cementizia e gli aggregati, penalizzando la resistenza a compressione.

- **Assorbimento d'acqua**

La presenza della malta aderente ai granuli determina, oltre ad una ridotta massa volumica, anche valori di assorbimento d'acqua superiori rispetto a quello degli aggregati naturali. L'assorbimento degli aggregati grossi riciclati (da 4 a 32 mm) varia tra il 4 e il 9% e sembra essere indipendente dalla qualità del calcestruzzo di origine; l'assorbimento degli aggregati fini riciclati può invece raggiungere valori dell'ordine del 12%. I valori di assorbimento degli aggregati naturali si attestano invece tra 0,5 e 2,5%.

- **La difficoltà di controllo dell'acqua di impasto**

A causa delle caratteristiche di elevato assorbimento d'acqua, gli aggregati riciclati necessitano di tempi lunghi per portarsi in condizione satura a superficie asciutta. La velocità di assorbimento dell'acqua degli aggregati inoltre varia sensibilmente da un tipo a un altro soprattutto nei minuti che seguono la miscelazione. Questa situazione

rende difficoltoso il controllo della lavorabilità, quindi dell'effettivo rapporto acqua/cemento. A causa del più alto fabbisogno di acqua libera dei mix con aggregati da riciclo, alcune ricerche hanno ritenuto opportuno prevedere contenuti di cemento più elevati per i calcestruzzi con aggregati da riciclo rispetto ai corrispondenti calcestruzzi convenzionali. Per evitare questi inconvenienti, secondo alcuni studi è indispensabile procedere a una pre- saturazione degli aggregati mediante bagnatura.

- **La produzione di frazioni fini e la lavorabilità del calcestruzzo fresco**

La maggiore percentuale di vecchia malta attaccata agli inerti, oltre a ridurre la massa volumica e ad aumentare l'assorbimento d'acqua, è causa di quello che viene considerato il principale fattore di deterioramento della qualità dei calcestruzzi confezionati con aggregati da riciclo: la produzione poco controllata di frazioni fini generate dallo sgretolamento della vecchia malta durante la miscelazione in betoniera; tale fenomeno altera la curva granulometrica di partenza e si traduce in una perdita di lavorabilità determinando tempi di inizio e fine presa più brevi rispetto a quelli del calcestruzzo tradizionale. Per tale ragione la maggioranza degli studi sull'argomento consigliano di non utilizzare le frazioni riciclate più fini (< 2 mm) che presentano una maggiore percentuale di malta vecchia rispetto alle granulometrie più grosse, oppure di eseguire una pre-miscelazione a secco degli aggregati da soli in betoniera per cinque minuti che non deteriora le proprietà del calcestruzzo indurito. La lavorabilità del calcestruzzo fresco viene sorprendentemente migliorata.

- **La massa volumica**

L'aggregato si presenta in granuli avvolti da uno strato più o meno spesso di malta di cemento. Poiché la malta di cemento ha una porosità maggiore di quella degli elementi lapidei naturali, la massa volumica dell'aggregato riciclato risulta, secondo la totalità degli studi sull'argomento, sempre inferiore a quella dell'aggregato naturale. La riduzione della massa volumica è più marcata per gli aggregati fini riciclati che non per quelli grossi a causa di una maggiore percentuale di pasta di cemento. Il contenuto percentuale di malta originaria può variare per l'aggregato fine riciclato tra il 30 e il 65 % mentre per l'aggregato grosso raramente supera il 40 %. La tendenza attuale della normativa internazionale è quella di limitare il contenuto di malta di cemento negli aggregati da riciclo attraverso la definizione per questi ultimi di un limite di accettabilità per la massa volumica.

6.8 Considerazioni generali: preferire una demolizione selettiva

Il riciclaggio dei materiali edili trova la sua origine nel momento della demolizione, totale o parziale, di un manufatto edilizio. Gli attuali metodi di produzione richiedono tempo e manodopera e non consentono ai prodotti di avere forme innovative o funzioni aggiuntive. In un determinato ambiente urbano, la riciclabilità di qualsiasi materiale può essere limitata: Il riciclaggio di determinati materiali e / o prodotti da costruzione può subire processi complicati e costosi. Queste difficoltà spesso comportano lo stoccaggio di rifiuti edili in discarica, con conseguenti costi inutili. Poca attenzione, ad esempio, viene dedicata alla riciclabilità di moderni materiali compositi. Inoltre la maggiore diffusione dei sistemi costruttivi umidi (in opposizione ai sistemi a secco) rende difficile il disassemblaggio degli elementi a fine vita. Ma, al di là dei più noti scarti da demolizione, ci sono anche altri materiali nelle città industriali che vengono inutilmente inviati in discarica: residui da estrazione mineraria, ceneri dell'industria forestale e/o derivanti dalla produzione di energia. Le tecnologie di produzione additive disponibili non sono ancora in grado di soddisfare le esigenze industriali del settore edile. Inoltre, i materiali hanno difficoltà nel soddisfare gli standard di qualità delle condizioni ambientali in cui trovano applicazione ed utilizzo. Il settore delle costruzioni tradizionali, per quanto sia molto regolamentato, appare ancora limitato a livello sperimentale, nonostante continui a permanere un attore chiave nel passaggio da una società ad alti consumi di energia a quello attuale dell'economia circolare. Pertanto, diventa sempre più prioritario prendere iniziative per sviluppare e fornire nuove piattaforme per sperimentare innovazioni urbane sostenibili per città all'avanguardia, moderne, pulite e tecnologiche.

Per quanto promosso dalle normative, il riciclo dei CDW è ancora scarsamente praticato anche in relazione alle modalità di gestione del cantiere di demolizione. La demolizione selettiva è oggi maggiormente praticata rispetto al passato, ma gli elevati costi portano a separazioni grossolane, in relazione a categorie generali (inerti, plastiche, metalli, etc.). Esistono diversi strumenti per promuovere pratiche di cantiere più efficaci e una valorizzazione dei materiali derivanti dalla demolizione, tramite pratiche di demolizione selettiva, come i pre-demolition audit, che andrebbero incentivati. L'adozione in Italia di tali strumenti (utilizzati all'estero) dovrebbe essere il pretesto per migliorarne la loro struttura: andrebbero integrati con valutazioni

ambientali e l'utilizzo degli stessi dovrebbe servire come mezzo di comunicazione tra il progettista e il demolitore o gestore dei rifiuti (*GBC Italia, 2020*).

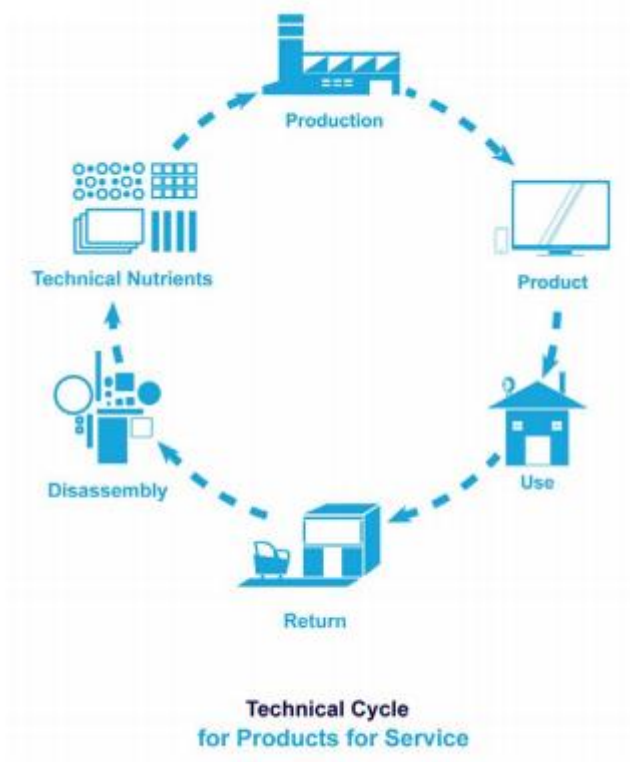


Fig. 8 - Ciclo tecnico per i prodotti di servizio (www.sciencedirect.org)

Le tecniche di demolizione impiegate influenzano in modo determinante la qualità dei rifiuti da costruzione e demolizione e conseguentemente dei materiali riciclati: le materie prime seconde (MPS) ottenute da rifiuti omogenei sono di qualità superiore rispetto a quelle provenienti da mix eterogenei. Quindi se l'obiettivo è quello di favorire il riciclo dei materiali edili, allora si dovrebbero adottare pratiche di demolizione che consentano di ottenere la separazione dei rifiuti per frazioni omogenee. Per ottenere questo risultato l'attività di demolizione deve avvalersi di una pluralità di strumenti di demolizione parziale e deve prevedere uno smantellamento per fasi successive dell'intero edificio. Una strategia di questo tipo, detta di demolizione selettiva, è oggi ancora poco praticata, perché comporta il sostenimento di costi elevati, dovuti al massiccio impiego di manodopera e ai tempi lunghi di esecuzione. Inoltre la mancanza di un indotto organizzato, cioè di una rete capillare di impianti di valorizzazione e di un mercato del riciclaggio, ha finora scoraggiato le imprese.

In effetti, è successo che sono stati presi in considerazione i fattori economici e la velocità di esecuzione dell'operazione nella scelta della tecnologia di demolizione da adottare e non è stata presa in considerazione la necessità di trasferire diversi tipi di rifiuti e componenti nel processo di produzione. Queste considerazioni hanno portato all'uso di procedure non selettive, in particolare la demolizione in modo tradizionale, in modo che i rifiuti da costruzione non possano essere massimizzati. I materiali che si ottengono hanno infatti una composizione fortemente eterogenea (rifiuti indifferenziati), per cui poco si prestano ad essere recuperati e riutilizzati.

Pertanto essi possono o essere smaltiti in discarica oppure essere avviati al recupero soltanto dopo aver subito un adeguato trattamento di selezione.

Tuttavia, la demolizione selettiva può essere organizzata in modo da consentire la separazione di elementi riutilizzabili che compongono diverse parti dei rifiuti di demolizione e rimuovere oggetti estranei o contaminanti. Il recupero dei componenti richiede un'attenta pianificazione per identificare gli elementi che devono essere accuratamente smontati manualmente.

A questo proposito, porte, finestre, porte, ringhiere, etc. sono componenti riutilizzabili con prestazioni residue sufficienti per ripristinare la loro funzione originale dopo il processo di nobilitazione che include la pulizia, la manutenzione e l'adattamento. Invece, gli elementi mal conservati devono essere rimossi per riciclare i singoli materiali costituenti da riciclare (ad esempio legno, vetro e ferro).

Ci sono però anche altri materiali che provengono dalle demolizioni e ristrutturazioni, che possono essere riutilizzati tali e quali. Si tratta ad esempio dei coppi, che vengono puliti e rivenduti per essere impiegati in nuove costruzioni rustiche; dei mattoni fatti a mano, che dopo un'accurata pulizia vengono impiegati per pavimentazioni interne ed esterne, e ancora il caso delle travi di legno, che possono essere rivendute e utilizzate per la costruzione ad esempio di camini e tavernette.

I rifiuti che non possono essere riusati possono inoltre essere riciclati. Se si esegue la separazione delle diverse categorie di rifiuti già dall'origine, si possono inviare al centro di trattamento i classici materiali tipici da costruzione quali il laterizio, il calcestruzzo e le macerie miste ma anche il legno, la plastica, il vetro ed i metalli che poi seguono i relativi percorsi di riciclaggio. Una demolizione di questo tipo non solo permette di recuperare la quasi totalità dei rifiuti prodotti (poiché in discarica finirebbero soltanto gli elementi edilizi contenenti amianto e gli isolanti), ma consente anche la produzione di MPS per l'edilizia di elevata qualità, mediante l'avviamento al riciclo di rifiuti omogenei.

6.9 Alcuni esempi di utilizzo in Italia di materiali riciclati in opere pubbliche

Anche in Italia, nonostante le criticità prima segnalate, emergono alcuni esempi concreti di opere pubbliche realizzate con aggregati riciclati, come ad esempio la costruzione del rilevato autostradale tra Santo Stefano di Magra e Viareggio (400.000 m³ di inerti recuperati), di tre banchine del porto di La Spezia (270.000 m³), dei rilevati di diverse strade comunali nell'hinterland milanese (78.000 m³), di quello ferroviario tra Lucca e Aulla (75.000 m³) o del raccordo autostradale nei pressi della nuova Fiera di Milano (45.000 m³). Senza dimenticare opere come il Palaghiaccio di Torino, costruito nell'ambito delle realizzazioni olimpiche per Torino 2006, rappresenta un interessante esempio di applicazione di materiali riciclati. In particolare l'aggregato riciclato è stato utilizzato per la realizzazione di tutto il sottofondo sia interno che esterno alla struttura. L'opera ha visto l'impiego di 20.000 m³ di aggregati riciclati.

OPERE PUBBLICHE REALIZZATE CON AGGREGATI RICICLATI

Opera pubblica	Anno	m ³ utilizzati
Rilevato autostradale Santo Stefano di Magra-Viareggio	2004/05/06	400.000
Discariche RU del Comune di Pinerolo e Cambiano (TO)	2002/03/04	100.000
Molo Ravano nel porto di La Spezia	2000/01	100.000
Molo Fincantieri Spa nel Porto di La Spezia	2001/02	95.000
Rilevati stradali nell'hinterland milanese	2003/04	78.000
Rilevato ferroviario sulla tratta Lucca - Aulla	2002/03	75.000
Molo Ferretti nel Porto di La Spezia	2003/04	75.000
Strada di collegamento tra autostrada A8 e polo fieristico di Milano	2004	50.000
Rilevati autostradali nei pressi del polo fieristico Rho-Pero	2004	45.000
Zona industriale di Vadò Moncalieri (TO)	2004/05	25.000
Strade di servizio dei cantieri dell'alta velocità Novara-Milano	2005/06	20.000
Pista di pattinaggio olimpionica del Palazzo del Ghiaccio "Oval"	2004	20.000
Nuovo interporto e scalo ferroviario Zona Industriale a San Vito al Tagliamento (PN)	2009/2010	12.000
Tangenziale di Limena (PD)	2002/2004	10.000

Fonte: Anpar

Tab 11 - Opere pubbliche realizzate con aggregati riciclati (www.anpar.it)

Un ulteriore esempio di recupero e riutilizzo di materiale derivato dalla demolizione di strutture esistenti è portato dallo Stadio della Juventus, nella città di Torino. La sua

realizzazione ha infatti visto il recupero dei materiali dismessi del vecchio stadio “Delle Alpi” che sono stati poi reimpiegati nel nuovo cantiere. Si tratta di 40.000 m³ di calcestruzzo, frantumati ed utilizzati come sottofondo del rilevato strutturale del nuovo impianto, a cui si aggiungono 5.000 tonnellate di acciaio, 2.000 m² di vetro e 300 tonnellate di alluminio. Il tutto ha portato anche un notevole risparmio economico stimato in circa 2 milioni di euro.

Anche i cantieri di Expo nella città di Milano hanno visto un largo utilizzo di acciaio, dalle strutture portanti alle fondazioni smontabili e recuperabili al 100 %. Dopo l’Expo, le 1.000 tonnellate di elementi in acciaio, giuntate mediante bulloni, sono state smontate e trasportate per poi riassarlarle a Dubai per Expo2020.

Tutti i laterizi prodotti in Italia dall’azienda bolzanina Wienerberger contengono almeno il 10% di materiale riciclato sul peso del prodotto. In particolare il nuovo complesso residenziale Casanova EA8 a Bolzano, composto da 85 unità residenziali suddivise in tre blocchi compatti, presenta il 20 % del contenuto dei laterizi da materiale riciclato e di recupero. La struttura ubicata all’estremo sud della città altoatesina, fa parte di un progetto urbano che richiama i castelli dell’area, con alcuni edifici disposti attorno ad una corte centrale aperta e verde, dalla quale è possibile percepire gli altri spazi del quartiere ed il paesaggio circostante.

Nel 2016 a Roma, è stato inaugurato un primo tratto di pista ciclabile del progetto GRAB (Grande Raccordo Anulare delle Bici), a Lungotevere Oberdan, ripavimentato con asfalto green e tecnologico, studiato ad hoc per le piste ciclabili. Il tratto di pista ciclabile, in precedenza caratterizzato da una pavimentazione sconnessa, è stato sostituito con asfalti e additivi di ultima generazione, che hanno permesso di utilizzare per oltre metà materiale proveniente dal riciclo. Inoltre l’aggiunta di materia prima seconda permette di abbassare le temperature di lavorazione, e di conseguenza di risparmiare energia e di ridurre i vapori bituminosi, aumentando di quasi il doppio la vita delle pavimentazioni grazie a speciali polimeri.

In Italia, in 27 province ci sono inoltre già circa 250 km di strade con asfalti con gomma riciclata, una tecnologia che ha il suo punto di forza nel dimezzamento del rumore del traffico al quale vanno aggiunte una vita media 3 volte superiore rispetto agli asfalti “tradizionali” e la maggiore resistenza a crepe e fessurazioni, con una minore necessità di interventi di manutenzione. Questo si traduce in meno cantieri per la città e meno costi per la Pubblica Amministrazione, avendo al contempo una pavimentazione di ottimo livello e ambientalmente sostenibile. In particolare sono estremamente positivi i risultati del monitoraggio effettuato sul tratto stradale in Val

Venosta, in provincia di Bolzano, tra Coldrano e Vezzano, realizzato con asfalti modificati con gomma riciclata da Pneumatici Fuori Uso (PFU). L'asfalto prodotto con polverino di gomma è risultato in grado di ridurre il rumore causato dal rotolamento degli pneumatici fino a 5 dB. La riduzione del rumore rende inoltre questi asfalti una valida alternativa all'utilizzo delle barriere acustiche su strade ad alta percorrenza. Anche il rapporto tra i costi di realizzazione e manutenzione delle barriere sonore e la posa di asfalti "modificati" è favorevole a quest'ultima soluzione.

Anche in Provincia di Torino è stato sperimentato l'utilizzo del polverino di gomma per la realizzazione del manto stradale, in particolare per la pavimentazione della strada Borgaro-Venaria. Nell'ambito dei lavori per la realizzazione della circonvallazione di Venaria e Borgaro è stato asfaltato un tratto di 1.200 metri con conglomerato bituminoso contenente polverino di gomma da pneumatici fuori uso. Si tratta della più grande opera pubblica che la Provincia di Torino abbia mai realizzato. La superficie coperta è di circa 16.000 m². Per ricoprire con il conglomerato bituminoso 1 km di strada si utilizza (miscelandolo con altri materiali) il polverino proveniente dal riciclo della gomma di 2.000 pneumatici di autovetture (o di 1.400 pneumatici di autocarri).

Con i nuovi 700 metri asfaltati con una miscela contenente una piccola parte di granulo di gomma da riciclo, Massafra, in provincia di Taranto, porta la Puglia di diritto tra le regioni italiane che hanno iniziato ad utilizzare mescole speciali, che resistono più a lungo, attutiscono il rumore, riducono il margine di frenata, ma soprattutto abbattano le emissioni di CO₂, proprio per l'utilizzo di gomma proveniente da riciclo. Per Corso Regina Margherita, la principale arteria che collega il centro della cittadina pugliese, sono stati utilizzati l'equivalente di 350 pneumatici che invece di essere abbandonati o portati a discarica sono stati utilizzati per la riasfaltatura. L'asfalto utilizzato raddoppia la resistenza da compressione e l'elasticità, diminuendo sino a 7 dB la rumorosità del rotolamento sul piano stradale e riducendo sensibilmente lo spazio di frenata.

I cavalli del centro ippico "Tashunka" di Todi, in Umbria, possono usufruire dei vantaggi della gomma riciclata. Per realizzare gli oltre 500 m² di pavimentazioni del centro sono state utilizzate circa 15 tonnellate di gomma riciclata, l'equivalente in peso di oltre 1.600 pneumatici da autovettura.

Anche un altro centro ippico in Umbria è stato realizzato con gomma riciclata: si tratta del centro Happy Horse di Orvieto creato con il riciclo di ben 12.000 pneumatici usati. Per questo progetto sono stati utilizzati 80.000 kg di gomma riciclata, incluso lo

strato di fondo costituito da 2.500 piastre anch'esse appunto derivate da gomma riciclata.

La storia dell'azienda Calcestruzzi Ericina, in provincia di Trapani, è sicuramente tra le più significative nel nostro paese non solo per gli aspetti ambientali. L'azienda infatti viene confiscata definitivamente alla mafia nel giugno 2000. I beni aziendali della Calcestruzzi Ericina vengono affidati alla cooperativa costituita dai lavoratori dell'azienda: la Calcestruzzi Ericina Libera. Nell'area dello stabilimento di Trapani è stato realizzato, accanto alle strutture completamente rinnovate, per la produzione di calcestruzzo, un impianto di riciclaggio di inerti tecnologicamente all'avanguardia per il nostro Paese. Tra il 2011 ed il 2017 sono state conferite nel centro di riciclo circa 120.000 tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione con la conseguente produzione di oltre 101.000 tonnellate di aggregati riciclati.

Un'altra infrastruttura di notevole estensione e che ha visto l'utilizzo di materiali riciclati è la piattaforma logistica dell'interporto di Fiumicino. Nel 2009 infatti sono stati realizzati i capannoni, le strade e le aree di sosta per un totale di 330.000 m² di superficie con l'impiego di aggregati riciclati per 50.000 m³.

Simile realizzazione è quella del completamento e dell'ampliamento delle vie di rullaggio e dei piazzali di sosta dell'Aeroporto di Malpensa, che ha visto un impiego addirittura di 120.000 m³ di aggregati riciclati.

Uno degli utilizzi di aggregati riciclati in campo portuale riguarda i riempimenti al mare, come nel caso dell'ampliamento del molo nel Porto di La Spezia. Essendo reperibili in zona aggregati C&D è stata considerata nello specifico tale opzione tenuto conto sia della difficoltà di reperire inerti naturali che del volume di materiale da porre in opera, di oltre 130.000 m³.

L'abbinamento della tecnica della vibroflottazione (una tecnica di miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione, che consiste nell'addensamento del terreno stesso, sia esso di tipo granulare che coesivo, con conseguente riduzione dell'indice dei vuoti, e miglioramento della sua resistenza al taglio) con l'impiego di materiale proveniente da attività di demolizione e l'entità del volume di riempimento trattato inseriscono l'intervento in oggetto nel novero delle applicazioni più significative di compattazione profonda realizzate recentemente in Italia. (*Legambiente Recycle 2017*).

Conclusioni

La panoramica offerta dai capitoli precedenti ed in modo particolare dal sesto capitolo, pone in evidenza che al giorno d'oggi deve diventare fondamentale porre attenzione verso il riciclo dei rifiuti derivanti da costruzioni e demolizioni, poiché rappresentano circa il 50 % dei rifiuti prodotti in Italia e in Europa.

L'obiettivo di sviluppare un'economia compiutamente circolare per questo tipo di rifiuti è lo scopo che l'Unione Europea vuole raggiungere, attraverso l'adozione di strumento normativi che stimolino i costruttori a scegliere determinate politiche di settore, come ad esempio la direttiva 2008/98/CE, che prevede che al 2020 si raggiunga un obiettivo pari al 70% del riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione. Inoltre con l'ausilio delle certificazioni ambientali a supporto della valutazione della sostenibilità di un edificio, si fornisce una maggiore spinta all'utilizzo di questi materiali riciclati all'interno del processo di costruzione di un'opera. Un notevole ostacolo è rappresentato dal cambiamento di mentalità e prospettiva dei soggetti coinvolti nei processi legati alle costruzioni: è difficile mutare l'atteggiamento mentale ed operativo di chi ha sempre svolto il proprio dovere seguendo determinati schemi, in particolar modo per coloro che non hanno a cuore le tematiche di sostenibilità ambientale e risparmio energetico. Inoltre spesso i progettisti, i direttori dei lavori e le stazioni appaltanti non hanno conoscenza tecnica circa le prestazioni degli aggregati riciclati e quindi escludono l'utilizzo di tali risorse.

Alla base del raggiungimento di tale obiettivo inoltre deve esserci un appoggio normativo e protocolli che regolino l'end of waste di settore; norme concrete che disciplinino il riciclo in maniera univoca e che definiscano quando e come un rifiuto da C&D (construction and demolition) cessa di essere un rifiuto e diventa un prodotto da reimmettere all'interno di un ciclo produttivo.

E' ideale promuovere maggiormente la demolizione selettiva, anche se gli elevati costi per metterla in pratica portano ad avere una separazione grossolana, relativa a categorie di rifiuti generiche (inerti, metalli, plastiche, etc.); per far questo è necessario mettere in atto pratiche di cantiere più efficaci volte alla valorizzazione di questi rifiuti ed inoltre è auspicabile l'utilizzo di strumenti per la gestione del loro fine vita poiché anche praticando una demolizione selettiva non viene poi eseguito un riconoscimento della composizione materica e delle caratteristiche comportamentali.

Infine è fondamentale tenere sempre a mente che il pianeta su cui viviamo è unico e non può essere visto come ricettore di rifiuti; esso va preservato e valorizzato in ogni sua forma adottando gli strumenti opportuni a nostra disposizione.

Il tema affrontato nella tesi risulta vasto e presenta numerose appendici che possono essere oggetto di successive analisi ed approfondimenti.

Bibliografia – Articoli scientifici e riviste

1. Anpar (2018), *Gli aggregati riciclati nelle opere edili pubbliche e private: le opportunità ambientali ed economiche, Fascicolo tecnico*
2. Borghi G., Pantini S., Rigamonti L. (2018), *Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy), Journal of Cleaner Production, Volume 184, Page 815-825*
3. Coelho A., De Brito J. (2012), *Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings, Waste Management, Volume 32, Issue 3, Pages 532-541*
4. Coelho A., De Brito J. (2011), *Economic analysis of conventional versus selective demolition - A case study, Resources, Conservation and Recycling, Volume 55, Issue 3, Pages 382-392*
5. Coelho A., De Brito J. (2013), *Preparation of concrete aggregates from construction and demolition waste (CDW), Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste, Pages 210-245*
6. Contreras M. (2016), *Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study), Construction and Building Materials, Volume 123, Pages 594-600*
7. European Commission (2016), *Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione*
8. Galán B., Viguri J.R., Cifrian E., Dosal E., Andre A. (2019), *Influence of input streams on the construction and demolition waste recycling performance of basic and advanced treatment plants, Journal of Cleaner Production, Volume 236, Article 117523*
9. Gálvez-Martos J., Styles D., Schoenberger H., Zeschmar-Lahl B. (2018), *Construction and demolition waste best management practice in Europe, Resources, Conservation and Recycling, Volume 136, Pages 166-178*
10. ISPRA (2020), *rapporto rifiuti speciali, dati di sintesi*
11. Jesus S., Maya C., Brazao Farinha C., De Brito J., Veiga R. (2019), *Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste, Construction and Building*

12. Legambiente Rapporto Cave (2017), *I numeri e gli impatti economici e ambientali delle attività estrattive nel territorio italiano. Le opportunità e le sfide nella direzione dell'economia circolare.*
13. Legambiente (2017), *L'economia circolare nel settore delle costruzioni, Rapporto Osservatorio Recycle*
14. Liikanen M. (2019), *Construction and demolition waste as a raw material for wood polymer composites – Assessment of environmental impacts, Journal of Cleaner Production, Volume 225, Pages 716-727 Materials, Volume 229, 116844*
15. Martín-Morales M., Zamorano M., Valverde-Palacios I., Cuenca-Moyano G. M, Sánchez-Roldán Z. (2013), *Quality control of recycled aggregates (RAs) from construction and demolition waste (CDW), Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste, Pages 270-303*
16. Marzouk M., Azab S. (2014), *Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics, Resources, Conservation and Recycling, Volume 82, Pages 41-49*
17. Morfini Luisa (2016), *Gli aggregati da riciclo: aspetti logistici e problematiche ambientali nella valutazione economica del loro impiego, Stato dell'arte di ricerca e normativa su aggregati e riciclati*
18. Ng Serina, Engelsen C.J. (2018), *Construction and demolition wastes, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete, Pages 229-255*
19. Ossa A., García J.L., Botero E. (2016), *Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry, Journal of Cleaner Production, Volume 135, Pages 379-386*
20. Panizza M., Natali M., Garbin E., Tamburini S., Secco M. (2018), *Assessment of geopolymers with Construction and Demolition Waste (CDW) aggregates as a building material, Construction and Building Materials, Volume 181, Pages 119-133*
21. Saiz Martínez P., González Cortina M., Fernández Martínez F., Rodríguez Sánchez A. (2016), *Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW) and their use*

in masonry mortar fabrication, Journal of Cleaner Production, Volume 118, Pages 162-169

22. Silva R.V., De Brito J., Dhir R.K. (2019), *Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications, Journal of Cleaner Production, Volume 236, Article 117629*
23. Villoria Sáez P., Osmani M. (2019), *A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union, Journal of Cleaner Production, Article 118400*
24. Vitale P., Arena N., Di Gregorio F., Arena U. (2017), *Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building, Waste Management, Volume 60, Pages 311-321*

Bibliografia – Normativa

1. D.L. 20 marzo 1941, n.366 “*Raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti solidi urbani*”
2. Direttiva 15 luglio 1975, 75/442/CEE
3. D.P.R. 10 settembre 1982, n.915 “*Attuazione delle direttive n.75/442 relativa ai rifiuti, n.76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotriphenili e n.78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi*”
4. D.L. 5 febbraio 1997, n.22 (Decreto Ronchi) “*Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolo e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio*”
5. D.M. 5 febbraio 1998 “*Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22*”
6. L. 28 dicembre 2001, n.448 (Finanziaria 2002) “*Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato*”
7. D.M. 8 maggio 2003, n.203 “*Acquisti della Pubblica Amministrazione – Quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato*”
8. Circolare 15 luglio 2005, n.5205 “*Indicazioni per l’operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n.203*”
9. D.L. 3 aprile 2006, n. 152 “*Norme in materia ambientale*”
10. Direttiva 19 novembre 2008, 2008/98/CE

11. D.P.R. 5 ottobre 2010, n.207 *“Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n.163, recante <<Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE>>”*
12. D. Lgs. 3 dicembre 2010, n. 205 *“Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive”*
13. D.M. 11 ottobre 2017 *“Criteri ambientali minimi per l’affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici”*
14. Direttiva 30 Maggio 2018, 2018/851/UE
15. UNI 10838:1999 *“Edilizia – Terminologia riferita all’utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia”*
16. UNI 8289:1981 *“Edilizia. Esigenze dell’utenza finale. Classificazione”*
17. UNI 9910:1991 *“Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio”*

Sitografia

1. Anpar, <http://anpar.org>
2. Arpae Emilia-Romagna, <http://www.arpae.it>
3. Breeam, <http://www.breeam.com>
4. Commissione Europea, <http://www.ec.europa.eu>
5. Consorzio nazionale imballaggi alluminio - CiAl, <http://www.cial.it>
6. Gazzetta Ufficiale, <http://www.gazzettaufficiale.it>
7. GBC Italia, <http://www.gbcitalia.org>
8. Ispra Ambiente, <http://www.isprambiente.gov.it>
9. Itaca, <http://www.itaca.org>
10. Legambiente, <http://www.legambiente.it>
11. Ministero dell’Ambiente, <http://www.minambiente.it>
12. Rete Clima, <http://www.reteclima.it>
13. ScienceDirect, <http://www.sciencedirect.com>
14. Teknoring, <http://www.teknoring.com>