

Recupero, riciclo e dismissione

Analisi ambientali di riqualificazione edilizia

L'articolo si riferisce alla valutazione ambientale, attraverso l'analisi del ciclo di vita, dei manufatti edilizi a seguito degli interventi di riqualificazione, focalizzando in particolare l'attenzione sulla fase di gestione dei rifiuti (recupero, riciclo e dismissione) generati dagli interventi di demolizione e successiva ricostruzione.

di Livio de Santoli, Adriana Sferra, Maria Laura Foglia



Riqualificazione e gestione dei rifiuti

Gli interventi attraverso i quali è possibile raggiungere gli obiettivi propri della riqualificazione edilizia sono la manutenzione, la ristrutturazione, ed il recupero¹. In tutti i casi è prevista la generazione di rifiuti, variabili per tipo e quantità, in funzione dell'intervento. I rifiuti generati dalle attività di costruzione e demolizione rappresentano tra il 40% ed il 50% in peso del totale dei rifiuti generati dalle attività umane [1] e le loro caratteristiche variano in funzione del tipo di lavori. In questa tipologia di rifiuti è possibile individuare:

- rifiuti da costruzione, che rappresentano il 10-20% circa del totale dei rifiuti da costruzione e demolizione. Sono costituiti principalmente da scarti, rimanenze, sfridi, imballaggi, e sono quindi riutilizzabili se non classificati pericolosi;
- rifiuti da demolizione, che rappresentano il 30-50% circa del totale dei rifiuti da costruzione e demolizione. Sono rifiuti misti costituiti da materiali inerti (laterizio, calcestruzzo, ceramica, metalli, plastica, vetro).
- rifiuti da attività di recupero del patrimonio edilizio esistente, sono molto simili a quelli di demolizione, ma contengono, in percentuale, maggiori quantità di materiali per finiture e di materiale lapideo di grossa pezzatura. Possono rappresentare fino al 50-60% del totale dei rifiuti da costruzione e demolizione.

Negli ultimi decenni la quantità dei rifiuti prodotti in Europa è aumentata notevolmente. La prevenzione, il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti sono tra le principali sfide cui l'Ue deve far fronte in campo ambientale. Per questo motivo, il VI Programma Comunitario in materia di ambiente ha considerato la prevenzione e la gestione dei rifiuti una delle massime priorità, cosa anche riproposta nel VII Programma Quadro.

Tranne qualche nazione particolarmente sensibile alle problematiche ambientali (Svizzera, Germania), in molte zone dell'Ue le discariche sono ancora il principale metodo di smaltimento dei rifiuti. Le discariche se funzionanti con bassi standard ambientali costituiscono spesso una minaccia per la salute umana e per l'ambiente in quanto inquinano l'aria, l'acqua ed il suolo. Secondo la cosiddetta gerarchia dei rifiuti, lo smaltimento dovrebbe essere solo una soluzione residuale privilegiando invece il riutilizzo e il riciclaggio².

In funzione della destinazione finale, comunemente si distinguono quattro diverse attività sul trattamento dei rifiuti: il riuso, il recupero, il riciclo e la discarica.

Il *Riuso* è possibile quando il prodotto immesso sul mercato conserva le sue caratteristiche anche dopo la fine della sua vita utile, e può quindi essere nuovamente utilizzato. L'operazione di riuso richiede opportuni trattamenti quali la raccolta differenziata e l'adeguamento del prodotto già usato per renderlo conforme al-

¹Dpr 6 giugno 2001 n. 380: art. 3 - 1 "Definizioni degli interventi edilizi"

²Si veda al riguardo: Comunicazione della Commissione CE numero 2006/C 115/21 contenente il Rapporto di prospettiva del Comitato delle regioni, sul tema "L'applicazione a livello regionale e locale della direttiva (1999/31/CE) relativa alle discariche di rifiuti"

le richieste dettate dai prodotti nuovi. Esempio di questa pratica è il riutilizzo delle bottiglie in vetro.

Il *Recupero* consiste nella reintroduzione della materia prima di cui il prodotto è composto in un diverso ciclo produttivo. Questa sostituzione evita così l'utilizzo di un'altra materia prima di diversa natura, ma con prestazioni simili. I più comuni esempi di tale attività sono: il recupero energetico, nel quale materie plastiche, carta, legno e tessili vengono utilizzati come combustibili per la produzione di energia; il compostaggio, nel quale i rifiuti organici diventano concime; le varie pratiche attraverso le quali si ottengono oggetti di arredamento urbano dai rifiuti in plastica.

Il *Riciclo* prevede la reintroduzione del prodotto nello stesso ciclo produttivo da cui proviene, previ tutti i trattamenti e le lavorazioni che ne consentono il reinserimento come materia prima seconda. Il materiale riciclato può essere impiegato negli impianti produttivi che utilizzano contemporaneamente materie prime vergini e materie seconde (è il caso dei rottami di vetro), o in impianti che utilizzano al posto delle materie prime vergini, quelle seconde (è il caso dei rottami di ferro che vengono inseriti nei forni elettrici e di tutti i rottami non ferrosi utilizzati nelle fonderie). Nel caso in cui la produzione di un materiale provenga dal ciclo secondario, il relativo processo di riciclo andrà ad evitare solamente la produzione della porzione percentuale riconducibile al ciclo primario.

La *Discarica* prevede lo stoccaggio definitivo dei rifiuti per strati sovrapposti, allo scopo di facilitare la fermentazione della materia organica. I processi di decomposizione delle sostanze organiche portano alla produzione di percolato e biogas che diffusi nell'ambiente sarebbero causa di inquinamento, quindi, è necessario evitare tali diffusioni provvedendo all'impermeabilizzazione e drenaggio degli strati e alla realizzazione di pozzi di captazione del biogas. La direttiva 1999/31 CE definisce le procedure di ammissione dei rifiuti nelle discariche.

La demolizione edilizia

Nei casi in cui si preveda la demolizione degli elementi edilizi, che può essere parziale o totale, è necessario sommare al danno ambientale causato dalla gestione dei rifiuti (sia che si tratti di operazioni di riuso, riciclo, recupero o di conferimento in discarica) anche il danno ambientale causato dal processo di demolizione.

La valutazione ambientale dei processi di demolizione dipende direttamente dalle tecniche utilizzate; esse possono essere di tipo tradizionale o controllato. La demolizione edilizia tradizionale è usata prevalentemente per azioni distruttive che non prevedono il riutilizzo delle strutture e le più comuni modalità sono: l'esplosione, la percussione con martelli pneumatici, la frantumazione con grandi pinze idrauliche, cesoie e/o martinetti, ruspe cingolate o terne gommate. Gli aspetti positivi della demolizione tradizionale sono la rapidità ed economia, mentre quelli negativi risiedono nei maggiori rischi per gli operatori, rumore, polveri, imprecisione e vibrazioni distruttive per le strutture limitrofe. La demolizione edilizia controllata è usata preva-

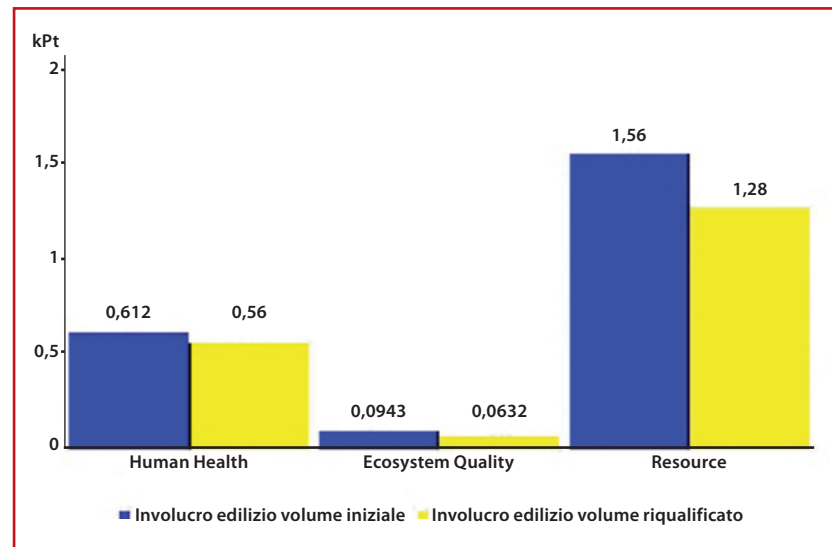


Figura 1 - Rappresentazione del confronto tra la valutazione dell'involucro iniziale, calcolata attraverso l'impatto ambientale derivato dalla produzione di tutti i materiali (copertura, infissi e pareti), e l'involucro finale, calcolata attraverso l'impatto ambientale causato dalla produzione dei materiali sostitutivi, nonché dalla demolizione e dalla gestione dei rifiuti. I risultati evidenziano la convenienza dal punto di vista ambientale dell'intervento di riqualificazione in ognuna delle categorie di danno

lentamente nei casi di riqualificazione del costruito, apertura o allargamento di porte e finestre, adeguamenti antincendio, antisismici, dimensionali, normativi, strutturali, restauro, apertura di fori. Le modalità più comuni per tale demolizione sono: la frantumazione chimica, con pinze e cesoie manuali, la idrodemolizione, il taglio per abrasione con sega (disco diamantato o sega a filo, con foretti per carotaggi, con lancia termica, con plasma, con laser). Gli aspetti positivi sono precisione, controllo del rischio, basse emissioni di inquinanti quali rumore e polveri, assenza di vibrazioni e salvaguardia delle strutture e dei fabbricati adiacenti. Queste tecniche di demolizione sono solo apparentemente più costose.

LA METODOLOGIA DI ANALISI AMBIENTALE

Lo studio riguarda i manufatti edilizi esistenti e la metodologia prevede il confronto tra la Lca del manufatto originario e quella del manufatto riqualificato. La valutazione del danno considera le fasi di produzione dei materiali/componenti, l'uso/gestione ed il fine vita, utilizzando il metodo degli Eco-indicatori e il codice SimaPro nella prospettiva culturale egalitaria.

L'analisi della fase di *produzione* prevede l'individuazione del tipo e della quantità dei materiali che compongono l'involucro edilizio. Non sono state fatte analisi sui componenti impiantistici in quanto per semplicità si è voluto studiare solo l'effetto di una riqualificazione dell'involucro edilizio, ipotizzando la stessa tipologia di impianto nei due casi.

La fase *d'uso e gestione* prevede il calcolo degli impatti ambientali derivati dagli interventi sull'involucro edilizio e dal fabbisogno energetico del manufatto esistente e quello del manufatto riqualificato durante i 50 anni ipotizzati per la sua vita utile. Nel-

Le analisi è stato considerato soltanto la variazione del fabbisogno energetico relativo al riscaldamento, ipotizzando assenza di climatizzazione e stessi consumi associati all'illuminazione per i due casi.

L'analisi della fase di *fine vita* prevede:

- la valutazione ambientale dei processi di demolizione edilizia con le tecniche attualmente più diffuse in Italia,
- la valutazione ambientale dello smaltimento dei rifiuti da costruzione e demolizione, nell'ipotesi di prevedere in Italia una percentuale da destinare al recupero come inerti per sottofondo stradale pari al 52% e una percentuale da conferire in discarica del 48% [3].

Una volta definite e valutate le sopra citate fasi è possibile procedere all'analisi del ciclo di vita dei manufatti edilizi esistenti per i quali siano previsti interventi di manutenzione, ristrutturazione e/o recupero, considerando però che i dati relativi alla valutazione ambientale della produzione di materiali e componenti e dei consumi energetici fanno riferimento ad un'ampia letteratura

esistente, mentre quelli necessari alla valutazione dell'impatto ambientale causato dai processi di demolizione e di gestione dei rifiuti da questi derivati, in un ottica di analisi del ciclo di vita, attualmente non sono stati ancora oggetto di studi dettagliati. La valutazione ambientale dei processi di demolizione richiede in primo luogo la definizione del metodo di demolizione adot-

Tabella 2 - Risultati della valutazione ambientale dei processi di demolizione parziale e di gestione dei rifiuti

Processo - Unità funzionale 1 kg				
	Demolizione parziale	Frantumazione materiali per sottofondo	Discarica materiali inerti da demolizione (100% di materiale in discarica)	Recupero materiale per sottofondo (100% di materiale recuperato)
Valutazione Ambientale mPt	4,28	4,85	5,12	4,37

Tabella 1 - Descrizione degli input e output dei processi di demolizione edilizia parziale, Frantumazione materiali per sottofondo, Discarica materiali inerti da demolizione e di Recupero materiale per sottofondo

Processo - Unità funzionale 1 kg				
	Demolizione parziale	Frantumazione materiali per sottofondo (100% di materiale in discarica) (**)	Discarica materiali inerti da demolizione (100% di materiale)	Recupero materiale per sottofondo (100% di materiale recuperato)
Input				
Materia	acqua: 2 l	acqua: 1 l	-	acqua: 3 l
Energia	Energia elettrica: 5 kJ	Energia elettrica: 3,6 kJ (*)	Energia elettrica: 3,78 kJ Attrezzature/macchinari da cantiere: 72,4 kJ	Energia elettrica: 3,6 kJ
Trasporti	-	Camion: 150 kg km	Camion: 150 kg km	Camion: 250 kg km
Output				
Emissioni in aria	Polveri: 1 g	Polveri: 1 g	-	Polveri: 1 g
Emissioni in acqua	-	-	Sostanze varie: 435 mg Solfati: 555 g	-
Rifiuti solidi	-	-	Rifiuti inerti: 1 kg	Rifiuti inerti: 1 kg
Occupazione del suolo	-	-	0,004 m ² anno	0,00004 m ² anno (***)
Prodotto evitato				
	-	-	-	Estrazione/lavorazione ghiaia: 0,95 kg (****)

* Dato sui consumi energetici: fonte trackmaster 179 kWh per la frantumazione di 50 a 300 tonnellate di materiale

** I valori delle emissioni sono calcolati come media dei valori delle emissioni dei singoli processi di discarica per materiale (Pvc, plastica e metalli). I dati sui consumi energetici provengono dalla ricerca sulla discarica dei rifiuti misti da cantiere elaborato dall'Apat in [4]. I dati relativi all'occupazione del suolo si riferiscono alla discarica di Malagrotta (Roma): 50 milioni di tonnellate di rifiuti; 200 ettari di superficie di invaso; 0,04 m²anno per 1 tonnellata di rifiuti. Inoltre, è stato ipotizzato un ciclo di vita della discarica di 30 anni prima che venga chiusa e bonificata.

*** Il dato sull'occupazione del suolo deriva dall'ipotesi che il rifiuto viene messo in riserva in attesa di essere successivamente recuperato [3].

**** La trasformazione del materiale inerte, proveniente dalla demolizione, in materiale da utilizzare nei sottofondi stradali evita la necessità di estrarre ghiaia da utilizzare per tale scopo. Anche se il guadagno ambientale di questo processo evitato di estrazione della ghiaia non è molto rilevante, evidenzia comunque come le operazioni di recupero riducano gli impatti sull'ambiente.

tato, e questo ai fini del calcolo dei consumi di energia dei macchinari utilizzati e delle emissioni ad essi associati. Risulta conveniente definire separatamente i consumi e le emissioni relativi ai processi per il processo di frantumazione successiva dei rifiuti, processo questo fondamentale per ottenere "pezzature" idonee per il riuso, il riciclo, il recupero o per il conferimento in discarica. La standardizzazione di questi valori, per quanto riguarda il processo di demolizione, si rende difficile data la molteplicità di tipologie dei cantieri per la demolizione, la diversità dei macchinari impiegati, (alcuni molto innovativi ed altri invece obsoleti), le tipologie dei manufatti e l'accuratezza delle operazioni per garantire la qualità del lavoro, la sicurezza degli operatori e l'abbattimento delle polveri e del rumore.

In Italia la maggior parte delle demolizioni viene effettuata con l'ausilio di mezzi meccanici quali escavatori, frantumatori, macchine con bracci telescopici attrezzabili a loro volta con pinze, pale idrauliche e cesoie, che consentono di separare tre tipi di materiale: il legno, il ferro, il calcestruzzo combinato con laterizio ed altro. Tale separazione è ancora certamente grossolana e non sufficiente a garantire la valorizzazione dei materiali appartenenti alla frazione litoide, che dovrebbe vedere compresi al suo interno le due sub-frazioni distinte di "solo calcestruzzo" e "macerie miste di laterizio".

Nell'ambito di questa rosa di materiali di scarto, l'unico caso di recupero pressoché totale per un nuovo utilizzo che ne sfrutti appieno le potenzialità si verifica nel caso del ferro proveniente dalle armature, che viene venduto in matasse alle acciaierie per essere reimmesso in nuovi processi di fusione. Mentre per quanto riguarda il legno gli eventi post-utilizzo sono molto più incerti, e vanno dalla triturazione e rigenerazione come truciolo allo sfruttamento come combustibile [2].

Una prima valutazione della quantità di energia richiesta per i processi di demolizione, frantumazione, discarica e recupero degli inerti può essere effettuata utilizzando i dati di processi analoghi contenuti nelle banche dati internazionali e calcolando i consumi energetici dei macchinari più comunemente impiegati attualmente in Italia. In questo modo è stato possibile stabilire un valore approssimato del consumo di materia, di energia e delle emissioni inquinanti associate.

I dati riassunti in tabella 1 riguardano, per una unità funzionale di un chilogrammo di rifiuto, le quantità di input ed output per le quattro diverse tipologie di processo.

I risultati della valutazione ambientale dei processi, espressi in mPt/kg, sono indicati in tabella 2. La valutazione ambientale dei processi di recupero e conferimento in discarica dei rifiuti inerti è stata condotta ipotizzando in entrambi i casi il 100% del totale dei rifiuti. Successivamente sono stati applicati a questi risultati le percentuali che si aggirano attualmente in Italia, come detto, intorno al 52% per la frazione recuperabile ed il 48% per la porzione inutilizzabile.

Per quanto riguarda la gestione dei rifiuti, la strategia risulta molto influenzabile dalle scelte fatte durante la demolizione e successiva frantumazione; allo stato attuale essa prevede un recupero di bassa qualità della frazione inerte dei rifiuti impiegata

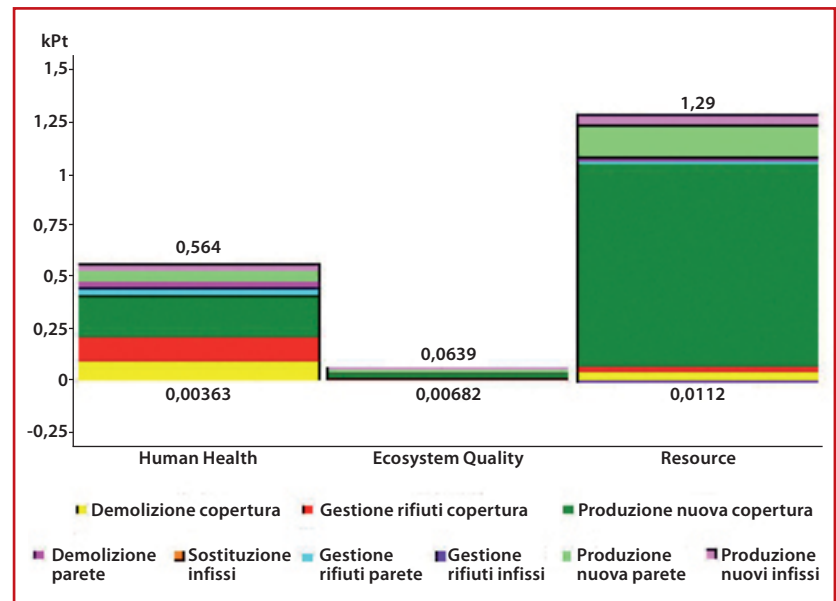


Figura 2 - Rappresentazione della valutazione ambientale dell'intervento di riqualificazione. Nel grafico sono evidenziati i contributi al danno ambientale dei processi di produzione dei nuovi materiali, di demolizione e gestione dei rifiuti di ognuno degli elementi tecnici sostituiti

Tabella 3 - Risultati della valutazione ambientale dei processi di riciclo del vetro, dell'alluminio e dell'acciaio

	Riciclo vetro	Riciclo alluminio	Riciclo acciaio
Valutazione Ambientale mPt	-24,5	-353,7	-347,4

Tabella 4 - Caratteristiche geometriche e dimensionali del manufatto edilizio analizzato

Superficie lorda m ²	Volume lordo m ³	Fattore di forma S/V	Superficie disperdente m ²	Superficie verticale opaca m ²	Superficie verticale trasparente m ²
120	324	0,37	312	177	15

successivamente come sottofondo stradale ed il conferimento in discarica del resto. Per quanto riguarda i rifiuti in vetro, alluminio e acciaio, è possibile, se separati prima della demolizione, come è stato ipotizzato in questo studio, procedere con le operazioni di riciclo. I risultati della valutazione ambientale, espressi in mPt/kg e di segno meno, evidenziano il guadagno ambientale di tali attività (tab. 3).

L'analisi ambientali dello stato originario e della riqualificazione del manufatto sono calcolate nel seguente modo:

$Valutazione\ ambientale\ iniziale\ (VA) = Lca\ edificio\ originario = Fase\ produzione\ materiali + Fase\ d'uso\ (consumi\ energetici\ in\ 50\ anni) + Fase\ fine\ vita\ (demolizione\ totale\ del\ manufatto\ e\ gestione\ dei\ rifiuti).$

$Valutazione\ ambientale\ riqualificazione\ (VA) = Lca\ dello\ stato\ riqualificato = Fase\ produzione\ materiali\ sostitutivi + Fase\ d'uso$

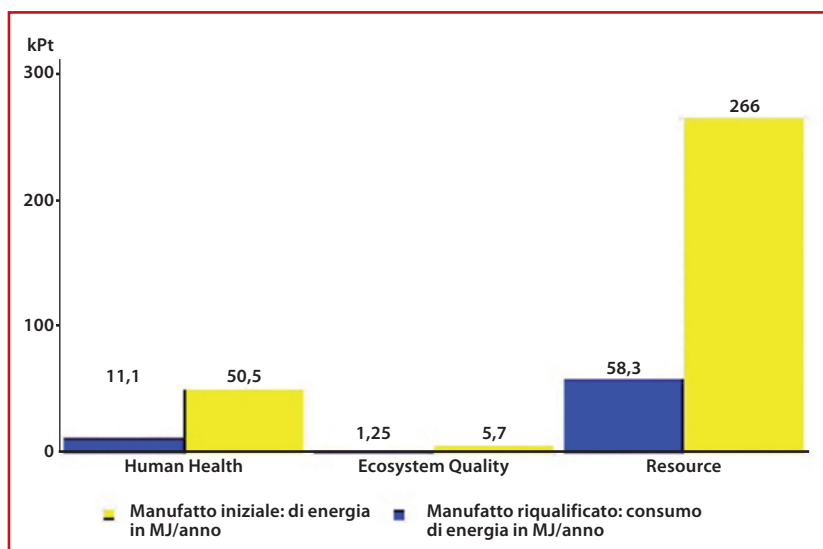


Figura 3 - Rappresentazione del confronto tra la valutazione ambientale dei consumi di energia in MJ/anno per il riscaldamento invernale durante la fase d'uso del manufatto iniziale e del manufatto dopo l'intervento di riqualificazione

Tabella 5 - Caratteristiche dell'involucro edilizio dello stato originario

Elemento tecnico	Descrizione	Massa kg	Spessore cm	Superficie m ²
Chiusure perimetrali verticali opache	Blocchi di laterizio, senza isolamento termico, con intonaco esterno in malta cementizia ed interno in malta di calce e gesso	68018	23,5	177
Chiusure perimetrali vert. trasparenti	Vetri singoli e telaio in alluminio	315,6	-	15
Copertura piana praticabile	Struttura in latero cemento, impermeabilizzata, non isolata, con pavimento in gres, intonaco interno in malta di calce	33306	28,3	60
Solaio a terra	Struttura in latero cemento, impermeabilizzato, non isolato, con pavimento in gres su sottofondo in magrone e ciottoli su terreno in sabbia	55011	57,8	60

(consumi energetici in 50 anni + demolizione parziale del manufatto iniziale + gestione dei rifiuti) + Fase fine vita (demolizione totale manufatto riqualificato e gestione dei rifiuti del manufatto riqualificato).

Per garantire la convenienza dal punto di vista ambientale dell'intervento di riqualificazione deve verificarsi che: $(VA_r) > (VA_p)$. Secondo la metodologia adottata sono ascrivibili al manufatto iniziale gli impatti relativi alla produzione dei materiali/componenti ed ai consumi energetici durante la vita utile ipotizzata, essendo invece imputabili al manufatto riqualificato sia gli impatti derivati dalla produzione dei materiali/componenti necessari per la sostituzione che gli interventi di demolizione edilizia e la

gestione dei rifiuti prodotti durante la demolizione.

Nell'analisi Lca effettuate non sono inclusi gli impatti relativi alla Fase di fine vita (demolizione totale del manufatto e gestione dei rifiuti) né del manufatto originario né di quello riqualificato. Questa semplificazione è possibile in quanto, nell'attuale scenario italiano per le demolizioni e lo smaltimento dei rifiuti, i valori risulterebbero pressoché identici. Inoltre, non è stata eseguita l'analisi Lca dei componenti dell'impianto tradizionale di riscaldamento perché ipotizzato in prima approssimazione senza variazioni in entrambi i casi.

IL CASO DI STUDIO

Il caso di studio prende in esame un volume destinato ad uso residenziale, situato a Roma, di dimensioni in pianta 6x10 m, su due piani, con altezza interpiano di 2,70 m, vedi tabella 4.

L'intervento di riqualificazione prevede la demolizione totale della copertura, la demolizione parziale delle pareti (rifacimento degli intonaci esterno ed interno e posa in opera di pannelli isolanti), la sostituzione totale degli infissi e la successiva ricostruzione con elementi tecnologici modificati nelle loro caratteristiche fisiche.

Caratteristiche dell'involucro edilizio dello stato originario

L'involucro edilizio ipotizzato inizialmente risulta costituito con le specifiche elencate in tabella 5.

Caratteristiche dell'impianto di riscaldamento dello stato originario

L'impianto di riscaldamento, alimentato a gas metano, è costituito dalla caldaia in acciaio, dal bruciatore, dalle tubazioni in acciaio, dalla coibentazione e dai radiatori in acciaio.

Caratteristiche dell'involucro edilizio dello stato riqualificato

L'involucro edilizio riqualificato risulta costituito con le specifiche elencate nella tabella 6.

Per quanto riguarda il solaio a terra e l'impianto di riscaldamento, questi sono rimasti invariati rispetto alla situazione iniziale.

Per la valutazione ambientale dei processi di riciclo, recupero e conferimento in discarica dei rifiuti derivati dagli interventi di demolizione, eseguiti per riqualificare il manufatto iniziale è indispensabile determinare la loro quantità (espressa in kg). Nel caso delle pareti, per le quali l'intervento ipotizzato prevede soltanto la sostituzione degli intonaci esterno ed interno, il valore in massa dei rifiuti è pari a 11018 kg. Per quanto riguarda gli infissi, costituiti da vetro ed alluminio ed entrambi potenzialmente riciclabili, l'intervento di riqualificazione non genera rifiuti né da conferire in discarica né da avviare al recupero. La demolizione della copertura invece produce 33238 kg di rifiuti inerti e 68 kg di acciaio per il quale è previsto il riciclo. L'ipotesi dello studio non prevede modifiche al solaio a terra.

Nella tabella 7 sono riassunti le quantità di rifiuti derivate dall'intervento di demolizione ipotizzato per ogni elemento tecnico e la percentuale di rifiuti da inserire come input nelle analisi ambientali.

Calcolo dei consumi energetici durante la fase d'uso (50 anni)

Sulla base dei valori delle trasmittanze riportati nella Tabella 8 sono stati calcolati i carichi termici invernali prima (13,3 kW) e dopo l'intervento di riqualificazione (4 kW).

I valori dell'energia richiesta sono stati calcolati e i risultati sono riassunti in tabella 9.

RISULTATI DELLA VALUTAZIONE AMBIENTALE

Come descritto nel paragrafo sulla metodologia della ricerca, l'analisi valuta la convenienza o meno dal punto di vista ambientale degli interventi di riqualificazione.

L'analisi è stata eseguita calcolando gli impatti causati dalla produzione dei materiali dell'involucro iniziale e dal consumo di energia annua per il riscaldamento e successivamente, confrontando questi risultati con gli impatti ambientali derivati dalla produzione dei materiali sostitutivi, dalla demolizione degli elementi dell'involucro, dal consumo di energia annua per il riscaldamento e dalla gestione dei rifiuti da demolizione nel caso di struttura riqualificata.

Per evidenziare la convenienza dell'intervento di riqualificazione, caratterizzato dalla consapevole gestione dei rifiuti, l'analisi è stata condotta rendendo indipendenti tra di loro i risultati della valutazione ambientale dell'involucro edilizio iniziale e di

quello riqualificato dalla valutazione ambientale dei loro rispettivi consumi energetici per il riscaldamento (fig. 1).

Una lettura più approfondita della valutazione ambientale del solo processo di riqualificazione dell'involucro (senza includere cioè i consumi energetici per il riscaldamento) identifica nella sostituzione totale della copertura la voce più impattante per l'ambiente, con 1503 Pt su un totale di 1900 Pt, pari al 79%, di cui 1200 Pt causati dalla produzione dei materiali sostitutivi, 143 Pt per la demolizione e 150 Pt per la gestione dei rifiuti, essendo invece il processo di gestione dei rifiuti della parete quello meno impattante sull'ambiente con soli 52,1 punti pari al 3% del totale. Il processo di riciclo degli infissi per il quale il risultato è di -15,5 punti pari al -3%, rappresenta un guadagno importante dal punto di vista ambientale (fig. 2).

La valutazione ambientale relativa ai consumi energetici per il riscaldamento è stata condotta calcolando i consumi energetici annui del manufatto iniziale e di quello a seguito dell'intervento di riqualificazione.

Il processo analizzato calcola gli impatti ambientali, nel primo caso, derivati dalla produzione di 73135 MJ/anno di energia termica in una caldaia alimentata a gas metano, e nel secondo caso di 16054 MJ/anno (fig. 3).

Il dato relativo alla valutazione ambientale del processo di produzione di 1 MJ di energia termica in una caldaia alimentata a gas metano è indicato in [2] essere pari a 4.3 mPt.

Tabella 6 - Caratteristiche dell'involucro edilizio stato riqualificato

Elemento tecnico	Descrizione	Massa kg	Spessore cm	Superficie m ²
Chiusure perimetrali verticali opache	Blocchi di laterizio, con isolamento termico in lana di vetro, con intonaco esterno in malta cementizia ed interno in malta di calce e gesso	69080	29,5	177
Chiusure perimetrali vert. trasparenti	Vetri isolanti (argon) (4 - 6 - 4) e telaio in Pvc	500	-	15
Copertura piana praticabile	Struttura in pannelli prefabbricati in polistirolo espanso, impermeabilizzata, con isolamento in lana di vetro, pavimento in gres, intonaco interno in malta di calce	9146	34,3	60
Solaio a terra	Vedi tab. 5	-	-	-

CONCLUSIONI

E' stata sviluppata una metodologia utilizzando l'approccio della Lca per analizzare la compatibilità ambientale degli interventi di riqualificazione edilizia previa l'elaborazione dei dati relativi alle procedure di demolizione, ai processi di recupero, riciclo e conferimento in discarica dei rifiuti, ai processi di produzione dei materiali edilizi e componenti impiantistici, ai sistemi di trasporto e di produzione di energia.

I risultati confermano l'ormai nota riduzione dei consumi energetici a seguito degli interventi di riqualificazione dei manufatti edilizi, ridotti da 73135 MJ/anno a 16054 MJ/anno, che si riflettono in una drastica diminuzione dell'impatto sull'ambiente (oltre il 75%). Il caso di studio evidenzia inoltre i vantaggi ambientali derivati dagli interventi di riqualificazione energetica dell'invo-

Tabella 7 - Calcolo della quantità di rifiuti prodotta durante l'intervento di riqualificazione

Elemento tecnico	Input per la valutazione ambientale				
	Massa totale iniziale kg	Massa rifiuti da demolizione kg	48% rifiuti in discarica kg	52% rifiuti al recupero kg	Rifiuti riciclati kg
Chiusure perimetrali verticali opache	68018	11018(inerti)	5288(inerti)	5729(inerti)	0
Chiusure perimetrali verticali trasparenti	315,6	222 (vetro) 93,6 (alluminio)	0	0	222 (vetro) 93,6 (alluminio)
Copertura piana praticabile	33306	33238 (inerti) 68 (acciaio)	15954(inerti)	17283(inerti)	68 (acciaio)
Solaio a terra	55011	non sostituito	0	0	0

➤ **Tabella 8** - Valori delle trasmittanze espresse in W/m^2K degli elementi tecnici del manufatto originario e del manufatto riqualificato

Elemento tecnico	Trasmittanza iniziale UW/m^2K	Trasmittanza finale UW/m^2K
Chiusure perimetrali verticali opache	1,90	0,37
Chiusure perimetrali verticali trasparenti	2,16	0,46
Copertura piana praticabile	5,53	2,80
Solaio a terra	1,17	1,17

Tabella 9 - Energia scambiata per trasmissione con l'esterno del manufatto iniziale e di quello riqualificato

Mese	Energia scambiata per trasmissione con l'esterno, MJ	
	Manufatto originario	Manufatto riqualificato
Nov	9619	2106
Dic	14910	3264
Gen	16656	3646
Feb	13709	3001
Mar	11552	2529
Apr	6689	1508

Foto riempitiva

lucro edilizio nonostante gli impatti derivati dalle indispensabili attività di demolizione, gestione dei rifiuti e ricostruzione, e malgrado il contesto ambientalmente poco attento nel quale attualmente in Italia sono gestiti i rifiuti.

I risultati della valutazione indicano in 2270 Pt il danno derivato dalla produzione del manufatto iniziale (di cui 612 Pt sulla salute

umana, 94,3 sulla qualità dell'ecosistema e 1560 sul consumo di risorse) ed in 1900 Pt quello associato al manufatto riqualificato (di cui 560 Pt sulla salute umana, 63,2 sulla qualità dell'ecosistema e 1280 sul consumo di risorse).

Nel caso di studio presentato, è stato evitato il consumo di una quantità rilevante di energia di produzione dal momento che le pareti opache sono state solo parzialmente demolite lasciando intatto lo strato portante di blocchi in laterizio. Le rispettive riduzioni di emissioni inquinanti associate a questi risparmi energetici potrebbero essere assimilate alle procedure di totale riutilizzo dei blocchi in laterizio.

La valorizzazione dei rifiuti attraverso la demolizione selettiva, riducendo le quantità da conferire in discarica e l'estrazione di materie prime, a favore di quelle da avviare al riciclo o al recupero, renderebbero ancor più vantaggiosi dal punto di vista ambientale gli interventi di riqualificazione.

In questo contesto, la demolizione selettiva si propone come alternativa per la riduzione della quantità di rifiuti da conferire in discarica.

Essa consiste nella separazione dei diversi materiali all'origine, richiede l'ausilio di tecniche di decostruzione, e dovrebbe essere affiancata, a monte, da una progettazione che preveda la possibilità di smontare i manufatti edilizi alla fine della loro vita utile.

Lo scopo della demolizione selettiva è quello di aumentare la quantità recuperabile degli scarti generati sul cantiere, qualunque sia la configurazione di partenza dell'edificio, secondo un approccio che privilegi l'aspetto della qualità del materiale ottenibile. Queste operazioni sono attualmente impraticabili date le correnti modalità di posa in opera (non a secco, con sodalizi tra materiali diversi pressoché inseparabili, incollaggi, ecc).

La demolizione selettiva può essere meno dispendiosa della demolizione tradizionale quando i costi di decostruzione vengono compensati da una riduzione nei costi per il conferimento in discarica dei materiali e/o per il loro riciclaggio. Una scelta che però è ancora possibile soltanto in particolari condizioni normative. Per citare un caso significativo oltre frontiera, in Germania i costi della decostruzione sono più bassi grazie agli alti costi di smaltimento delle macerie miste e un network molto fitto di impianti di riciclaggio.

*Livio de Santoli, Adriana Sfera, Maria Laura Foglia
Centro Ricerca Citera, Università La Sapienza, Roma*

BIBLIOGRAFIA

- [1] Marino E., *Il cantiere e l'ambiente*, Epc libri, Roma 2002.
- [2] de Santoli, L., *Analisi del ciclo di vita del sistema edificio-impianto*, Palombi editori, Roma 2006.
- [3] Anpa-Onr: *Rapporto sui rifiuti*, Roma 2003.
- [4] Anpa, I-Lca: *Banca dati italiana a supporto della valutazione del ciclo di vita, Versione 2*, Roma 2001.
- *Direttiva comunitaria 99/31, Discariche di rifiuti.*
- *Direttiva comunitaria 89/106, Prodotti da costruzione*