

# Edilizia ed economia circolare: End of Waste dei rifiuti inerti

*Building construction and circular economy: End of Waste of construction and demolition waste*

Marco Casini<sup>a</sup> – Fabrizio Cumo<sup>b</sup> – Giuseppe Piras<sup>c</sup>

## Abstract

Il tema del riutilizzo dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) dopo il loro conferimento in discarica assume una notevole rilevanza per promuovere il passaggio del settore edilizio dall'attuale modello lineare ad un modello di economia circolare. Il contributo originale dello studio, svolto in stretta collaborazione con il Centro Materia Rinnovabile – CMR, è stato quello di elaborare una metodologia predittiva di valutazione dei contenuti di solfati e cloruri negli eluati dei rifiuti inerti che costituisce attualmente uno dei principali problemi per la definizione di criteri End of Waste per tale tipologia di rifiuti. Il metodo originale proposto nel presente articolo prende come riferimento l'abaco delle chiusure degli edifici esistenti di cui alla norma UNI/TR11552:2014 in materia di prestazione energetica degli edifici al fine di prevedere la concentrazione di solfati e cloruri delle principali tipologie di pareti, solai e coperture degli edifici presenti sul territorio nazionale.

## Keywords

Riciclo rifiuti da C&D, economia circolare, End of Waste, solfati e cloruri, involucro edilizio

*The issue of the actual re-use of construction and demolition (C&D) waste after their transfer to the landfill takes on considerable importance to promote the passage of the construction sector from the current linear model to a circular economy model. The original contribution of the study, carried out in close collaboration with the Renewable Matter Center - CMR, was that of developing a predictive methodology for assessing the contents of sulphates and chlorides in the eluates of inert waste which currently constitutes one of the main problems for defining End of Waste criteria. The original method proposed is based on the abacus of the closures of existing buildings as per the UNI / TR11552: 2014 standard on the energy performance of buildings to predict the concentration of sulphates and chlorides of the main types of walls, floors and roofs of the buildings on the national territory.*

*C&D Waste Recycling, circular economy, End of Waste, sulphates and chlorides, building envelope*

## 1. Introduzione

Il miglioramento della gestione dei rifiuti costituisce un'importante sfida ambientale a livello internazionale. Ogni anno nell'UE sono prodotti circa 1,3 miliardi di tonnellate di rifiuti (esclusi i rifiuti agricoli) pari a circa 3,5 tonnellate pro capite.

Il piano di attuazione approvato al vertice mondiale sullo sviluppo sostenibile (Johannesburg, settembre 2002) riprendendo i temi dell'Agenda 21 auspicava ulteriori azioni per prevenire e ridurre al minimo la produzione di rifiuti e rafforzare quanto più possibile il riutilizzo, il riciclo e l'uso di materiali alternativi inno-

cui per l'ambiente, con la partecipazione delle amministrazioni statali e di tutte le parti interessate, in modo da ridurre al minimo gli effetti negativi sull'ambiente ed accrescere l'efficienza delle risorse.

Il tema è stato ulteriormente sviluppato nel VI (2001-2010) e nel VII (2010-2020) Programma comunitario di azione per l'ambiente, con l'obiettivo generale di garantire "una migliore efficienza delle risorse e una migliore gestione delle risorse e dei rifiuti ai fini del passaggio a modelli di produzione e consumo più sostenibili, dissociando pertanto l'impiego delle risorse e la produzione dei rifiuti dal tasso di crescita economica, e cercando di garantire che il consumo di risorse rino-

vabili e non rinnovabili non superi la capacità di carico dell'ambiente”.

Dai dati pubblicati dall'Agenzia europea dell'ambiente (EEA) emerge come circa il 50% dei rifiuti prodotti in Europa sia attribuibile al settore delle costruzioni: dall'estrazione delle materie prime fino alla gestione e dismissione degli edifici.

Sulla base di tali considerazioni, la Comunità europea ha individuato il settore delle costruzioni come uno dei settori prioritari di intervento dei programmi di azione per l'ambiente al fine di assicurare uno sviluppo urbano sostenibile.

In particolare, oltre al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, le strategie prioritarie individuate riguardano l'utilizzo di materiali da costruzione ecocompatibili ed il miglioramento della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione attraverso l'utilizzo di materiali riciclati e la pratica della demolizione selettiva.

In linea con gli indirizzi comunitari, alcuni paesi europei, e in modo particolare Danimarca, Olanda, Belgio e Germania, hanno promosso, già da diversi anni, il reimpiego dei materiali da demolizione attraverso l'introduzione di direttive vincolanti all'interno della normativa di settore. In Olanda, ad esempio, dove la normativa vigente prevede che almeno il 20% degli aggregati per calcestruzzo debba provenire da riciclo, la percentuale di materiale riciclato nella realizzazione di opere civili ha raggiunto circa il 90%.

In Italia i rifiuti prodotti dal settore delle costruzioni nell'anno 2016 (ultimi dati disponibili) costituiscono il 40% totale degli scarti prodotti; secondo i dati dell'ISPRA emersi dal “Rapporto Rifiuti Speciali 2018” nel Nord Italia la produzione di tali rifiuti è pari a circa 31,2 milioni di tonnellate [1]. I maggiori valori di produzione dei rifiuti speciali da C&D si registrano per la regione Lombardia che, con quasi 12 milioni di tonnellate, copre il 38,4% della produzione complessiva di rifiuti da costruzione e demolizione della zona geografica in esame; segue il Veneto con oltre 5,1 milioni di tonnellate (16,5%), l'Emilia-Romagna con quasi 5 milioni di tonnellate (15,8%) e il Piemonte con circa 4,5 milioni di tonnellate (14,5%).

Al Centro sono quasi 9,8 milioni di tonnellate gli scarti prodotti dal settore edilizio; la Toscana produce oltre 4,2 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione pari al 43,2% del totale prodotto in tale area, e il Lazio circa 3,7 milioni di tonnellate pari al 37,6% del totale. Infine, al Sud la produzione complessiva di rifiuti da C&D raggiunge quasi 12,5 milioni di tonnellate; le regioni che producono i quantitativi più significativi sono la Puglia, con 3,5 milioni di tonnellate (28,1% del totale della macro-area), la Sicilia (oltre 2,9

milioni di tonnellate, 23,4%) e la Campania (quasi 2,9 milioni di tonnellate, 23,1%).

Attualmente il 66,8% del totale dei rifiuti da costruzione e demolizione viene smaltito nelle discariche per rifiuti inerti, il 25,5% nelle discariche per rifiuti non pericolosi e il restante 7,7% nelle discariche per rifiuti pericolosi. Tali dati si traducono in un potenziale enorme da sfruttare per ridurre il consumo delle materie prime e al tempo stesso per diminuire il quantitativo di rifiuti conferiti in discarica nel rispetto dei principi della politica ambientale comunitaria.

Per favorire il recupero dei componenti edilizi e promuovere una transizione del settore edilizio verso un modello di Economia circolare è quindi necessario introdurre adeguati strumenti tecnico-normativi volti a superare le grandi difficoltà procedurali ed economiche che ancora oggi bloccano il recupero dei materiali all'interno del settore [2]

Risulta fondamentale quindi intervenire in modo integrato in tutte le fasi del processo edilizio, dalla costruzione fino alla gestione dei rifiuti e sottoprodotti da destinare ai processi di riciclo e valorizzazione come materiali da reintrodurre nel ciclo produttivo.

Lo studio proposto, effettuato nell'ambito di una collaborazione scientifica tra il Centro di Ricerca CITERA della Sapienza Università di Roma e il Centro Materia Rinnovabile, si colloca nell'ambito delle attività preliminari per la stesura del Decreto per l'End of Waste (EoW) per gli aggregati riciclati con l'obiettivo finale di proporre la creazione di un sistema collettivo per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) nel pieno rispetto della direttiva 2008/98/CE riguardante la gerarchia dei rifiuti.

Tra le difficoltà che si oppongono al riutilizzo degli aggregati riciclati in edilizia rientra certamente quella dei test di cessione previsti dal DM 05/02/1998.

Il test di cessione (anche detto test di lisciviazione o *leaching test*) è una prova durante la quale un campione di materiale solido viene messo a contatto con un lisciviante (che funge da agente materiale di separazione) e dal quale viene prodotto un liquido (detto eluato). Lo scopo è quello di determinare il rilascio dei costituenti dei materiali e il potenziale inquinamento dell'ambiente. Il test deve essere effettuato in conformità all'appendice A della norma UNI 10802 con la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2:2004 [3]. I risultati delle determinazioni analitiche devono essere confrontati con i valori limite riportati nell'Allegato 3 al DM del 5 febbraio 1998 perché il rifiuto possa essere reimmesso nel ciclo produttivo come prodotto.

Tuttavia, nel caso degli aggregati riciclati, alcuni parametri da ricercare nell'eluato del Test di Cessione

rappresentano i costituenti stessi dei materiali e non dei contaminanti (es. cloruri, solfati, COD/TOC) in quanto sono contenuti in specifiche frazioni presenti nei rifiuti da recuperare (cemento e malte, cartongesso, terre da scavo). Porre dei limiti alle concentrazioni di tali parametri non solo è un controsenso logico, ma soprattutto, date le difficoltà di avere campioni rappresentativi del prodotto finito (aggregato riciclato), rischia di negare il raggiungimento dello status di End of Waste agli aggregati riciclati prodotti da normali rifiuti da costruzione e demolizione.

L'attività di ricerca si è pertanto focalizzata sulla determinazione della concentrazione di solfati e cloruri all'interno degli eluati derivanti dai test di cessione dei materiali derivanti dalla demolizione delle strutture opache dell'involucro edilizio (pareti, solai e coperture) con l'obiettivo di proporre al legislatore di eliminare i parametri che rappresentano i costituenti dei materiali prodotti e non dei contaminanti (es. cloruri, solfati, COD/TOC) o, in alternativa, almeno di inserire nuovi criteri e metodi di misura.

Il metodo proposto nella ricerca ha consentito di stimare, per tutte le diverse tipologie di strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici, la concentrazione di solfati e cloruri che saranno presenti all'interno dell'eluato a seguito delle prove di cui ai test di cessione (DM 186/2006).

In particolare, partendo dalla stratigrafia e dalla composizione delle singole strutture è stato possibile stimare dapprima il quantitativo di solfati e cloruri in esse presenti, quindi ricavarne la loro concentrazione nell'eluato sulla base dei dati di solubilità disponibili in letteratura.

Le caratteristiche chimico fisiche dell'aggregato riciclato dovranno comunque essere verificate con misurazioni a campione a seguito di prelievi effettuati nei depositi temporanei di cantiere, o comunque prima dell'acquisizione definitiva dello stesso come materia prima seconda.

## 2. Verso un'edilizia circolare

I "rifiuti inerti" sono definiti come "i rifiuti solidi che non subiscono alcuna trasformazione fisica, chimica o biologica significativa; i rifiuti inerti non si dissolvono, non bruciano né sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, non sono biodegradabili e, in caso di contatto con altre materie, non comportano effetti nocivi tali da provocare inquinamento ambientale o danno alla salute umana. La tendenza a dar luogo a percolati e la percentuale inquinante globale dei rifiuti, nonché l'ecotossicità dei percolati devono essere trascurabili e, in particolare, non danneggiare la qualità delle acque,

superficiali e sotterranee" (D.lgs 36/2003, art. 2 comma 1, lettera e).

I materiali prodotti dagli impianti di recupero dei rifiuti inerti sono denominati sulla base delle definizioni delle norme tecniche CEN "aggregati". Essi a loro volta si distinguono in riciclati ed artificiali (o industriali) a seconda della tipologia rifiuti che ha dato loro origine. La definizione di ognuno di essi è pertanto la seguente:

- **Aggregato:** materiale granulare utilizzato nelle costruzioni. Gli aggregati possono essere naturali, artificiali o riciclati.
- **Aggregato riciclato:** aggregato risultante dalla lavorazione di materiale inorganico precedentemente utilizzato nelle costruzioni.
- **Aggregato artificiale:** aggregato di origine minerale derivante da un processo industriale che implica una modificazione termica o di altro tipo.

Ai sensi dell'art. 184-ter Dlgs 152/06, un rifiuto cessa di essere tale, quando è stato sottoposto a un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo, e soddisfa i criteri specifici, da adottare nel rispetto delle seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- b) esiste un mercato o una domanda per tale sostanza od oggetto;
- c) la sostanza o l'oggetto soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- d) l'utilizzo della sostanza o dell'oggetto non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o sulla salute umana.

Ai sensi della normativa nazionale "i criteri sono adottati in conformità a quanto stabilito dalla disciplina comunitaria ovvero, in mancanza di criteri comunitari, caso per caso per specifiche tipologie di rifiuto attraverso uno o più decreti del Ministro dell'ambiente [...]": l'intervento nazionale è giustificato, quindi, solo in assenza di criteri di matrice comunitaria e per particolari tipologie di rifiuti.

Nelle more dell'adozione di tali decreti, "continuano ad applicarsi le disposizioni di cui ai decreti del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio in data 5 febbraio 1998 per i rifiuti non pericolosi, 12 giugno 2002, n. 161 per i rifiuti pericolosi, e 17 novembre 2005, n. 269 per i rifiuti pericolosi provenienti dalle navi [...]".

Nel caso della produzione di aggregati per le costruzioni (inclusi quelli dedicati a usi non strutturali come riempimenti e colmate) le prime tre condizioni di cui all'art. 184-ter sono soddisfatte in modo inequivocabile al momento in cui il produttore effettua la marcatura

CE sulla base delle norme tecniche europee armonizzate (CEN). Anche nel caso della produzione di materie prime da utilizzare in processi industriali (ad esempio l'industria della ceramica, del laterizio, del cemento, etc.) i prodotti riciclati saranno conformi agli standard esistenti applicabili a tali materiali o, qualora non esistenti, alle specifiche tecniche fissate dai clienti che determineranno le condizioni per il raggiungimento dell'EoW dal punto di vista tecnico.

Più problematico è fissare delle regole per soddisfare la condizione d), cioè quella relativa alla preservazione della salute umana e dell'ambiente. Gli operatori del settore ritengono che le modalità per valutare gli impatti oggi presenti nella normativa sul recupero dei rifiuti (DM 5/2/98 e smi) non siano idonei al settore dei rifiuti inerti (si ricorda infatti che non solo il DM 5/2/98 fa riferimento alle sole procedure semplificate, ma per di più prevede un unico test per valutare l'impatto sulla salute dell'uomo e sull'ambiente che va indirettamente a limitare la presenza negli aggregati di elementi costituenti dei rifiuti originari) e sia pertanto necessario rifarsi alla definizione di EoW presente nelle norme e ragionare ex-novo sull'opportunità di mantenere limiti alla cessione sui materiali o inserire nuovi criteri e/o metodi di misura. Esistono inoltre diverse problematiche legate sia alla metodologia di esecuzione dei test sia alla preparazione di campioni rappresentativi (di cui si dirà approfonditamente nel seguito), che rendono molto complesso fissare un criterio affidabile e ripetibile [4]

### 3. Metodologia

Per la determinazione del contenuto di solfati e cloruri all'interno delle strutture edilizie si è fatto riferimento all'abaco delle chiusure di cui alla norma UNI/TR11552:2014 che fornisce i principali parametri termofisici (trasmissione termica, capacità termica areica e trasmissione termica periodica) dei componenti opachi dell'involucro maggiormente utilizzati negli edifici esistenti suddivisi per epoca di costruzione, localizzazione geografica e tipologia costruttiva [5].

Partendo da queste basi lo studio svolto si è concentrato sulla valutazione della percentuale di solfati e cloruri presenti in una unità standard di superficie opaca pari ad 1 metro quadro di parete, solaio o copertura.

In dettaglio sono state individuate tutte le stratigrafie più significative dei vari pacchetti dell'involucro edilizio ed in seguito sono state definite le composizioni chimiche dei materiali potenzialmente contenenti solfati e cloruri, effettuando un calcolo sulle percentuali attese di tali componenti in un campione tipo di residuo di demolizione.

I dati relativi a tali percentuali sono stati recepiti dall'analisi di articoli scientifici, ricerche universitarie e da dati merceologici [6].

In particolare, il percorso metodologico seguito ha previsto i seguenti passaggi:

1. *Calcolo del peso complessivo della struttura (parete, solaio, copertura)*

La massa superficiale ( $M_s$ ) della struttura [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] viene calcolata moltiplicando lo spessore di ogni strato [m] per la relativa massa volumica [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] e sommando tra loro i valori ottenuti.

2. *Calcolo della percentuale in peso dei singoli strati componenti la struttura*

La composizione massica in percentuale di ogni singolo strato [%] viene calcolata dividendo la sua massa superficiale [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] per la massa superficiale ( $M_s$ ) della struttura [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

3. *Calcolo della percentuale in peso di solfati e cloruri presenti nei singoli strati*

La percentuale in peso di solfati e cloruri presenti nei singoli strati [%] viene ricavata dalla composizione mineralogica di ciascuno strato.

4. *Calcolo del peso di solfati e cloruri nei singoli strati*

Il quantitativo [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] di solfati e cloruri presenti nei singoli strati della struttura viene calcolato moltiplicando la massa superficiale del singolo strato per la percentuale in peso di solfati e cloruri presenti al suo interno.

5. *Calcolo del peso complessivo di solfati e cloruri all'interno della struttura*

Il peso totale [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] di solfati e cloruri presenti all'interno di un metro quadro di struttura, viene calcolato sommando i quantitativi dei singoli strati di cui al punto 4). Dividendo il quantitativo per la massa superficiale della struttura si ottiene inoltre il quantitativo di solfati e cloruri per kg di struttura [ $\text{g}/\text{kg}$  di struttura]

6. *Stima della concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione"*

La stima della presenza di cloruri e solfati negli eluati delle singole strutture è stata effettuata sulla base di dati di solubilità disponibili in letteratura [6].

Il test di cessione, eseguito con un rapporto di liquido/solido di 10 l/kg, viene condotto a temperatura am-

biente di 20 °C e in seguito viene analizzata la presenza del contaminante di riferimento, secondo il D.M. 5 febbraio del 1998. Il valore ottenuto viene espresso in mg/L così come vengono riportati i limiti normativi di riferimento delle concentrazioni finali.

I valori riportati nella ricerca, sono stati ottenuti riportando il valore di concentrazione, inizialmente in grammi per kg di parete, in grammi per litro di soluzione. Tale valore è stato confrontato con il valore di solubilità della sostanza di riferimento. Procedendo in questo modo, si è quantificato il valore massimo ottenibile nella soluzione, non tenendo in considerazione fenomeni chimici e fisici che possono verificarsi durante il test. Il valore riportato nelle schede rappresenta quindi il massimo tra due valori ottenuti, ovvero quello massimo raggiungibile dal test e quello contenuto inizialmente nel volume analizzato.

Per lo studio dei solfati è stato preso in considerazione il solo composto “solfato di calcio” in quanto è quello maggiormente presente nei materiali da costruzione ed inoltre presenta una solubilità in acqua di 2 g/l a 20° C. Gli altri gruppi solfati sono presenti in percentuali minime in sostanza solida ed inoltre presentano valori di solubilità molto bassi pertanto non sono stati presi in considerazione.

Analogamente per i cloruri è stato preso in considerazione il “cloruro di calcio” che presenta una solubilità in acqua di 740 g/l, più alta rispetto al solfato, ma molto meno presente del precedente nei materiali da costruzione. Gli altri cloruri non sono risultati in concentrazioni significative.

Nella Tabella 1 si riporta un esempio esplicativo delle varie fasi di analisi svolte per il raggiungimento dell’obiettivo prefissato per una parete tipo.

Tab .1 - Scheda esemplificativa per il calcolo di solfati e cloruri presenti in 1 m<sup>2</sup> di una parete in mattoni pieni

Muratura in mattoni pieni (MLP01)			
1. Calcolo del peso complessivo della parete			
Composizione	Spessore [m]	Massa volum. [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superf. [kg/m <sup>2</sup> ]
Intonaco interno (calce e gesso)	0,02	1400	28,00
Mattoni pieni	0,25	1800	450,00
Intonaco esterno	0,02	1800	36,00
Malta	-	-	46,20
<b>Totale</b>	<b>0,29</b>	-	<b>560,20</b>
2. Calcolo della percentuale in peso dei singoli strati componenti la struttura			
Composizione	Massa sup. strato [kg/m <sup>2</sup> ]	Massa sup. parete [kg/m <sup>2</sup> ]	Composizione massica [%]
Intonaco interno (calce e	28,00	560,20	5,00

gesso)			
Mattoni pieni	450,00	560,20	80,33
Intonaco esterno	36,00	560,20	6,43
Malta	46,20	560,20	8,25
3. Calcolo della percentuale in peso di solfati e cloruri presenti nei singoli strati			
Intonaco int.	Composizione	Solfati [%]	Cloruri [%]
Calce idrata	15,00	0,000	0,000
Gesso	40,00	35,540	0,026
Calcio carbonato	45,00	0,000	0,000
<b>Totale</b>	-	<b>14,2160</b>	<b>0,0104</b>
Intonaco est.	Composizione	Solfati [%]	Cloruri [%]
Cemento clincker portland	10,00	35,54	0,026
Calcare	85,00	0,00	0,000
Calce idrata	5,00	0,00	0,000
<b>Totale</b>	-	<b>0,1777</b>	<b>0,00013</b>
Malta	Composizione	Solfati [%]	Cloruri [%]
Cemento	10,00	35,54	0,026
Sabbia	50,00	0,00	0,000
Acqua	40,00	0,00	0,000
<b>Totale</b>	-	<b>0,1777</b>	<b>0,00013</b>
4. Calcolo del peso di solfati e cloruri nei singoli strati			
Composizione	Peso [kg]	Solfati [%]	Cloruri [%]
Intonaco int.	28	14,2160	0,0104
<b>Totale [g]</b>	-	<b>3980,48</b>	<b>2,912</b>
Composizione	Peso [kg]	Solfati [%]	Cloruri [%]
Intonaco est.	36,00	0,1777	0,00013
<b>Totale [g]</b>	-	<b>63,972</b>	<b>0,0468</b>
Composizione	Composizione	Solfati [%]	Cloruri [%]
Malta	46,20	0,1777	0,00013
<b>Totale [g]</b>	-	<b>82,0974</b>	<b>0,06006</b>
5. Calcolo del peso complessivo di solfati e cloruri all'interno della struttura			
	[g]	[g/Kg di parete]	
<b>Totale solfati</b>	4126,5494	7,3662	
<b>Totale cloruri</b>	3,01886	0,0054	
6. Stima della concentrazione di solfati e cloruri post “test di cessione”			
	[mg/L]	Valori limite[mg/L]	
<b>Totale solfati</b>	736,6207	250	
<b>Totale cloruri</b>	0,5389	100	

### 3. Risultati

L’abaco delle strutture costituenti l’involucro opaco degli edifici è strutturato secondo la norma UNI/TR11552:2014, “Abaco delle strutture costituenti l’involucro opaco degli edifici: parametri termofisici”, con la seguente suddivisione:

Pareti perimetrali

Pareti in laterizio pieno (MLP01 – MLP03)

Pareti in pietra (MPI01 – MPI05)

Pareti in materiale vario (MCO01 – MCO05)

Pareti a cassa vuota (MCV01 – MCV06)

Pareti prefabbricate (MPF01 – MPF04)

Solai

Solai verso esterno o verso ambienti non climatizzati (SOL01 – SOL15)

Coperture

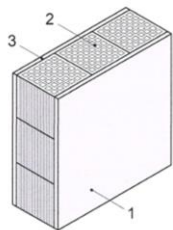
Coperture piane (COP01 – COP05)

Coperture inclinate (CIN01 – CIN05)

Per ciascun componente è stata effettuata la scomposizione in elementi chimici ed è stato individuato il conseguente peso previsto per unità specifica di cloruri e solfati. Infine, è stata svolta una valutazione previsionale del contenuto atteso di tali cloruri e solfati dopo il test di cessione negli eluati, basandosi su dati di solubilità valutati sperimentalmente e provenienti da letteratura scientifica. Si riportano di seguito alcuni esempi significativi per ciascuna tipologia costruttiva di parete, solaio e copertura.

Parete in laterizio pieno

MLP03 Muratura in laterizio semipieno



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg per 1 m² di parete
1. intonaco interno (calce e gesso)	0,02	1400	28
2. blocchi in laterizio	0,25	1000	250
3. intonaco esterno	0,02	1800	36
4. malta			46,2

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE

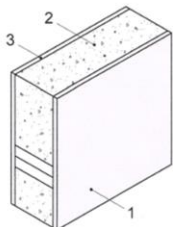
	g	g/kg di parete
Totale solfati	4126,5494	11,4563
Totale cloruri	3,01886	0,0084

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	1145,6273	250
Totale cloruri	0,8381	100

Parete in pietra

MPI01 Muratura in pietra listata con mattoni



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg per 1 m² di parete
1. intonaco interno (calce e gesso)	0,02	1400	28
2. mattoni e sassi	0,27	2000	540
3. intonaco esterno	0,02	1800	36
4. malta			46,2

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE

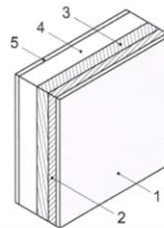
	g	g/kg di parete
Totale solfati	4126,5494	6,3466
Totale cloruri	3,01886	0,0046

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	634,6585	250
Totale cloruri	0,4643	100

Pareti in materiali composito

MCO02 Muratura a sacco con riempimento debolmente legato



Materiale	Spessore materiale (m)	massa volumica (kg/m³)	kg per 1 m² di parete
1.intonaco interno (calce e gesso)	0,02	1400	28
2.mattoni forati	0,08	800	64
3.riempimento debolmente legato	0,08	1500	120
4.mattoni forati	0,25	1800	450
5.intonaco esterno	0,02	1800	36
6.malta			92,4

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE

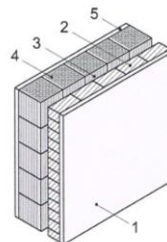
	g	g/kg di parete
Totale solfati	4208,6468	5,3247
Totale cloruri	3,07892	0,0039

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	532,4705	250
Totale cloruri	0,3895	100

Parete a cassa vuota

MCV01 Muratura a cassa vuota in laterizio forato



Materiale	Spessore materiale (m)	massa volumica (kg/m³)	kg per 1 m² di parete
1.intonaco interno (calce e gesso)	0,02	1400	28
2.mattoni forati	0,08	800	64
3.intercapedine d'aria	0,08	0	0
4.mattoni forati	0,25	800	200
5.intonaco esterno	0,02	1800	36
6.malta			92,4

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE

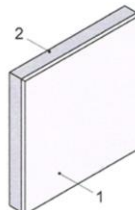
	g	g/kg di parete
Totale solfati	4208,6468	10,0111
Totale cloruri	3,07892	0,0073

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	1001,1053	250
Totale cloruri	0,7324	100

Pareti prefabbricate

MPF01 Parete in calcestruzzo



Materiale	Spessore materiale (m)	massa volumica (kg/m³)	kg per 1 m² di parete
1.intonaco interno (calce e gesso)	0,01	1400	14
2.Parete in calcestruzzo malta	0,3	1400	420
			46,2

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE

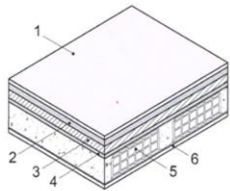
	g	g/kg di parete
Totale solfati	2072,3374	4,3156
Totale cloruri	1,51606	0,0032

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	431,5571	250
Totale cloruri	0,3157	100

Solai verso esterno o verso ambienti non climatizzati

SOL03\_Solaio in laterocemento – blocchi collaboranti



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg/m²
1. Pavimentazione interna gres	0,015	1700	25,5
2. Malta	0,02	2000	40
3. Massetto in calcestruzzo ordinario	0,12	1900	228
4. Malta	0,02	2000	40
5. Soletta (blocchi in laterizio + Travetti in calcestruzzo)	0,24	900	216
6. Intonaco esterno	0,02	1800	36

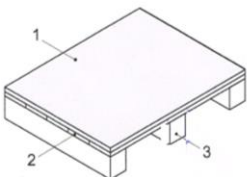
TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE	g	g/kg di parete
Totale solfati	547,316	0,9348
Totale cloruri	0,4004	0,0007

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	93,4784	250
Totale cloruri	0,0684	100

Solai verso esterno o verso ambienti non climatizzati

SOL09\_Solaio in legno



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg/m²
1. finitura interna	0,015	1700	25,5
2. Assito in legno	0,04	710	28,4
3. Travi secondarie - Legno	0,20	710	142

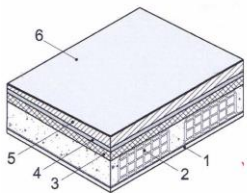
TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE	g	g/kg di parete
Totale solfati	0	0,0000
Totale cloruri	0	0,0000

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	0,0000	250
Totale cloruri	0,0000	100

Coperture piane

COP01\_Copertura piana non praticabile



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg/m²
1. Intonaco interno	0,02	1400	28
2. Soletta (blocchi in laterizio + Travetti in calcestruzzo)	0,24	900	216
3. Calcestruzzo armato	0,04	1400	56
4. Malta di cemento	0,02	2000	40
5. Massetto in calcestruzzo ordinario	0,12	2000	240
6. Membrana impermeabilizzante bituminosa	0,01	1200	12

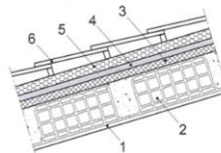
TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE	g	g/kg di parete
Totale solfati	4534,904	7,66031
Totale cloruri	3,3176	0,0056

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	766,0311	250
Totale cloruri	0,5604	100

Coperture inclinate

CIN03\_Copertura inclinata (solaio laterocemento)



Materiale	Spessore materiale (m)	Massa volumica (kg/m³)	kg/m²
1. Intonaco interno	0,02	1400	28
2. Soletta (blocchi di laterizio + 3. travetti in calcestruzzo)	0,24	1800	432
4. Calcestruzzo armato	0,04	2400	96
5. Malta di cemento	0,02	2000	40
6. Pannello isolante in polistirolo	0,05	35	1,75
7. Tegole coppi in laterizio			27

TOTALE DI CLORURI E SOLFATI PRESENTI NELL'INTERA PARETE	g	g/kg di parete
Totale solfati	4222,152	6,7581
Totale cloruri	3,088	0,0049

Concentrazione di solfati e cloruri post "test di cessione" (D.M. ambiente 05/04/2006 n.186)

	[mg/L]	Limiti normativi (D.M. 05/02/1998) [mg/L]
Totale solfati	675,8100	250
Totale cloruri	0,4944	100

### 3. Conclusioni

I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) rientrano tra i flussi per i quali la direttiva quadro 2008/98/CE contempla la possibilità di adozione di criteri EoW in considerazione delle ampie potenzialità di un loro riutilizzo nel mercato come prodotti per l'edilizia favorendo così un'economia circolare.

Per tali tipologie di rifiuti sono riconosciuti come elementi chiave per un loro effettivo riutilizzo le questioni ambientali riguardanti la lisciviazione a seguito dei test di cessione. Per tali materiali, siano essi "rifiuti tal quali" o "prodotti di recupero", deve essere effettuata la verifica di rilascio di eventuali sostanze (test di cessione) secondo le Norme UNI 10802 (Allegato B) e UNI EN 12457-2. I valori riscontrati per i parametri di riferimento debbono essere conformi alle previsioni dell'Allegato 3 al decreto ministeriale 5 febbraio 1998 e s.m.i.. In questo quadro, il presente studio è stato finalizzato alla valutazione previsionale dei contenuti di solfati e cloruri negli eluati all'interno dei residui di demolizione delle principali componenti opache dell'involucro edilizio con l'obiettivo di verificare la validità dei valori limite di concentrazione dei solfati e dei cloruri nel test di cessione previsti dall'allegato 5 alla parte IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Dai risultati della ricerca risulta del tutto evidente come la diffusa presenza di gesso (solfato di calcio) principalmente all'interno di intonaci, rivestimenti e malta nella quasi totalità delle stratigrafie analizzate, rende sostanzialmente inutile la realizzazione del test di cessione perché i valori attesi sono già superiori ai limiti previsti dalla normativa vigente.

Conseguentemente, si suggerisce di non effettuare il test per questo tipo di residui da demolizione ma inse-

rire solo verifiche a campione, o in subordine di elevare i valori limite ad almeno 500 mg/l per i solfati e 300 mg/l per i cloruri.

Per i cloruri infatti, nonostante nella tipologia di pareti di tamponatura e solai analizzati non siano emersi valori di concentrazione superiori all'attuale valore di soglia normativo, è necessario considerare che in presenza di rifiuti da C&D, ove sono normalmente presenti residui di elementi strutturali, impiantistici e di finiture, i valori attesi sono sicuramente molto più elevati di quelli rilevati nel presente studio.

## Bibliografia

- [1] ISPRA, Rapporti 285/2018, ISBN 978-88-448-0899-0.
- [2] Casini, M., *Costruire l'ambiente*, Edizioni Ambiente, Milano, 2009.
- [3] UNI EN 12457-2:2004 “Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi - Parte 2: Prova a singolo stadio, con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg, per materiali con particelle di dimensioni minori di 4 mm (con o senza riduzione delle dimensioni)”.
- [4] [ANPAR, L'End of Waste dei rifiuti inerti Position Paper, Roma, settembre 2018.](#)
- [5] UNI/TR 11552:2014 “Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici”
- [6] Butera, S., Hyks, J., Christensen, T. H., Astrup, T. F. (2015). Construction and demolition waste: Comparison of standard up-flow column and down-flow lysimeter leaching tests, *Waste Management*, 43, 386-397.

<sup>a</sup> MARCO CASINI, Ingegnere, Professore di Tecnologia dell'Architettura e di Certificazione ambientale degli edifici presso la Facoltà di Architettura della Sapienza Università di Roma, Faculty Advisor e Project Manager del Team Sapienza SDME

<sup>b</sup> FABRIZIO CUMO, Ingegnere, Direttore del Centro di Ricerca CITERA. Professore associato afferente al Dipartimento DPDTA-Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura della Facoltà di Architettura – Sapienza Università di Roma.

<sup>c</sup> GIUSEPPE PIRAS, Architetto e Ingegnere, Professore di Fisica tecnica ambientale, Direttore del Master universitario in “*Gestione integrata e valorizzazione dei patrimoni immobiliari e urbani - Asset, Property, Facility & Energy Management*”, nonché componente del Senato Accademico e Referente per le iniziative nel campo del risparmio energetico e del controllo ambientale presso l'Università degli Studi di Roma “*La Sapienza*”.