

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



TESI di LAUREA triennale

Il processo produttivo del riciclaggio di materiali inerti da demolizione

Supervisore

Prof. Maria Cristina Lavagnolo

Studente

Filippo Meneghini

matr. 2109999

Anno accademico 2025-2026

RINGRAZIAMENTI

Un grazie sincero a tutte le persone che mi sono state accanto in questo percorso impegnativo ma entusiasmante, dandomi supporto, motivazione e compagnia.

Alla mia famiglia, a mio papà, mia mamma e mia sorella, che mi hanno sempre spronato e incoraggiato, indirizzandomi su quelle che sono le scelte migliori da fare e alla mia ragazza che mi sostiene sempre.

Ai miei nonni che credono sempre in me e non mi fanno mai mancare nulla.

Alle persone con cui ho stretto amicizia durante questo lungo viaggio, sono stato molto fortunato ad aver conosciuto delle belle persone come voi.

Ai miei amici storici che ci sono sempre stati, amici con cui ho passato giornate in biblioteca a Verona, ci siamo dati una grossa mano e studiare è diventato un piacere.

All'impresa Meneghini Giovanni s.r.l. che mi ha seguito in questo percorso e mi ha fatto imparare tante cose nuove.

Alla mia professoressa e relatrice Maria Cristina Lavagnolo, i suoi insegnamenti mi sono molto cari.

Grazie.

Sommario

ABSTRACT	1
1 QUADRO GENERALE E NORMATIVO DEI RIFIUTI	3
1.1 Definizioni e gerarchia di gestione dei rifiuti.....	3
1.2 Inquadramento dei rifiuti da costruzione e demolizione	5
1.2.1 Definizioni e origini del flusso	5
1.2.2 Rilevanza quantitativa e dati statistici	5
1.3 Suddivisione e classificazione dei rifiuti: codici EER (ex CER) e caratterizzazione.....	6
1.3.1 Caratterizzazione merceologica e codificazione delle frazioni	6
1.3.2 Rifiuti pericolosi, voci specchio e quadro del D.lgs. 152/2006.....	7
2 LA FILIERA DEI RIFIUTI DERIVANTI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE: LOGISTICA E CESSIONE	9
2.1 La demolizione selettiva in cantiere e la caratterizzazione preventiva	9
2.2 Tracciabilità e quadro normativo del trasporto di rifiuti	11
2.2.1 La responsabilità della gestione del rifiuto	11
2.2.3 Inquadramento autorizzativo: L'Albo Nazionale Gestori Ambientali.....	12
2.2.4 campionamento ed analisi del rifiuto	13
2.3 Siti e impianti di conferimento	15
2.3.1 Quadro normativo e autorizzativo	15
2.3.2 L'evoluzione del Quadro Normativo sull'End of Waste: Dal D.M. 152/2022 al D.M. 127/2024 ..	16
2.3.3 Gestione impianto e layout.....	17
3 IL PROCESSO DI VALORIZZAZIONE: DA RIFIUTO A MATERIA PRIMA SECONDARIA (MPS).....	19
3.1 Inquadramento concettuale e operazioni fisiche e meccaniche di recupero (R5)	19
3.1.1 Il fondamento giuridico: l'Articolo 184-ter del D.lgs. 152/2006	19
3.1.2 Il ciclo di valorizzazione: le operazioni meccaniche e fisiche (operazione R5).....	19
3.1.3 La cessazione formale della qualifica di rifiuto	21
3.2 Requisiti chimico-ambientali e comportamento di lisciviazione (D.M. 127/2024).....	22
3.2.1 Contaminanti nella matrice solida.....	22
3.2.2 Il test di lisciviazione e i parametri limite nell'eluato	23
3.3 Analisi geotecnico-prestazionale e marcatura CE	25
3.3.1 Elenco delle prove geotecniche di laboratorio e normative di riferimento	25
3.3.2 Il controllo della FPC, la Dichiarazione di Prestazione (DoP) e l'etichettatura CE	27
3.4 Ambiti di reimpiego degli aggregati riciclati e integrazione nei CAM	28
3.4.1 Destinazioni d'uso ammesse dal D.M. 127/2024 (Allegato 2)	28
3.4.2 Criteri Ambientali Minimi – CAM e modalità di verifica.....	29
4 CASO STUDIO: IL PROCESSO DI VALORIZZAZIONE PRESSO L'IMPRESA MENEGHINI GIOVANNI S.R.L.....	31
4.1 Inquadramento aziendale e contesto territoriale	31
4.1.1 Profilo operativo	32
4.1.2 Titoli autorizzativi e capacità d'impianto.....	32
4.1.3 Flussi autorizzati all'ingresso.....	33
4.2 Layout d'impianto	35
4.2.1 Zonizzazione dell'impianto	36
4.2.2 Gestione acque e abbattimento polveri	37

4.3	<i>Trattamento e processo di recupero R5</i>	39
4.3.1	Il gruppo mobile di frantumazione primaria: RIMAC MOBY 1060	39
4.3.2	Vagliatura e classificazione	40
4.4	<i>Verifica della conformità End of Waste (D.M. 127/2024) su un lotto di aggregato riciclato 0/63</i>	41
4.4.1	Analisi dei contaminanti nella matrice solida	41
4.4.2	Test di cessione	42
4.5	<i>Analisi prestazionale e marcatura CE</i>	44
4.5.1	Prove di laboratorio	44
4.5.2	Analisi costitutiva dei componenti riciclati (UNI EN 933-11)	46
4.5.3	Controllo della produzione in fabbrica FPC, DoP e criteri ambientali minimi CAM	46
5	<i>CONCLUSIONI</i>	47
6	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	49

ABSTRACT

Il settore delle costruzioni rappresenta uno dei principali pilastri dello sviluppo economico e sociale globale, al contempo è responsabile di un forte impatto sull'ambiente, sia in termini di consumo di risorse vergini sia di generazione di scarti da processi.

La costante richiesta di materie prime e la produzione di significanti volumi di scarto impone un cambiamento, c'è la necessità di passare da un modello di economia lineare data dai seguenti processi: estrazione-produzione-utilizzo-smaltimento, ad un modello di economia circolare volto a diminuire gli sprechi e ad aumentare il recupero di risorse. In particolare, l'obiettivo è di trasformare un rifiuto trattato come onere di smaltimento in una risorsa strategica mediante il recupero di materia.

L'estensione del ciclo di vita dei materiali edili risponde agli stringenti obiettivi della direttiva europea sul recupero di materia e alle politiche nazionali ambientali, oltre a costituire un elemento chiave per ridurre la pressione estrattiva sulle cave e mitigare l'impronta ecologica sulle opere civili.

Il presente lavoro di tesi si occupa di analizzare l'intero processo produttivo del riciclaggio dei materiali da demolizione esaminando il percorso normativo e tecnologico che consente la trasformazione di rifiuto in materia prima secondaria MPS.

In particolare, i principali obiettivi sono i seguenti:

- Svolgere un'analisi della classificazione dei rifiuti da costruzione e demolizione, degli adempimenti logistici in particolare spiegando il passaggio da FIR cartaceo a digitale, e delle autorizzazioni degli impianti di conferimento
- Illustrare i parametri chimico-fisici e prestazionali che determinano la cessazione della qualifica di rifiuto e l'evoluzione normativa segnata dal passaggio dal D.M. 152/2022 al D.M. 127/2024
- Svolgere un'analisi dettagliata di un caso studio reale riguardo il processo produttivo del riciclaggio di materia da demolizione dell'impresa Meneghini Giovanni s.r.l.
- Valutazione degli ambiti di impiego

Attraverso questo elaborato si intende dimostrare che attraverso il legame tra la rigida disciplina ambientale e i processi tecnologici permettono all'aggregato riciclato di essere una risorsa sicura idonea ed essenziale per la sostenibilità del territorio e delle sue infrastrutture.

1 QUADRO GENERALE E NORMATIVO DEI RIFIUTI

1.1 Definizioni e gerarchia di gestione dei rifiuti

Il quadro normativo di riferimento per la gestione dei rifiuti nell'Unione Europea è tracciato dalla Direttiva Quadro sui Rifiuti 2008/98/CE recepita in Italia all'interno del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, Testo Unico Ambientale.

Viene definito rifiuto, secondo l'articolo 183 del D.Lgs. 152/2006:

qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi

La definizione si concentra sul "disfarsi" indipendentemente dal valore economico residuo o dalla potenzialità di riutilizzo in un ciclo produttivo.

È inoltre opportuno inserire la distinzione tra rifiuto pericoloso e non pericoloso secondo il Testo Unico Ambientale.

- Rifiuto pericoloso: un rifiuto che presenta una o più caratteristiche di pericolo elencate nell'Allegato III alla Direttiva 2008/98/CE e nell'Allegato I alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006. Tali proprietà sono identificate da codici di pericolo che vanno da HP 1 (esplosivo) a HP 15 (rifiuto che non possiede direttamente una delle caratteristiche di pericolo, ma può manifestarla successivamente). L'attribuzione della pericolosità è legata alla presenza e alle concentrazioni di sostanze chimiche tossiche, ecotossiche, corrosive, infiammabili o cancerogene.
- Rifiuto non pericoloso: qualsiasi rifiuto che non presenti alcuna delle caratteristiche di pericolo sopra menzionate.

L'articolo 3 della Direttiva 2008/98/CE e l'articolo 183 del D.Lgs. 152/2006 forniscono le seguenti definizioni normative:

- Produttore di rifiuti: il soggetto la cui attività produce rifiuti (produttore iniziale) o chiunque effettui operazioni di pretrattamento, di miscelazione o altre operazioni che hanno modificato la natura o la composizione di detti rifiuti
- Detentore: il produttore dei rifiuti o la persona fisica o giuridica che ne è in possesso
- Riciclaggio: qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il trattamento di materiale organico ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento
- Gestione dei rifiuti: la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compresi il controllo di tali operazioni e gli interventi successivi alla chiusura dei siti di smaltimento, nonché le operazioni effettuate in qualità di commerciante o intermediario

L'articolo 4 della Direttiva 2008/98/CE e l'articolo 179 del D.Lgs. 152/2006 definiscono la gerarchia dei rifiuti stabilendo l'ordine di priorità della normativa e delle politiche in materia di prevenzione e gestione:

La gestione dei rifiuti avviene nel rispetto della seguente gerarchia:

- a) prevenzione;
- b) preparazione per il riutilizzo;
- c) riciclaggio;
- d) recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- e) smaltimento.

Viene promossa la transizione verso un'economia circolare superando il metodo tradizionale che porta ad un'estrazione incontrollata di risorse vergini. (D.Lgs. 152/2006) (Lavagnolo, 2026) (Direttiva 2008/98/CE).

1.2 Inquadramento dei rifiuti da costruzione e demolizione

I rifiuti derivanti dall'attività di costruzione e demolizione rappresentano una delle frazioni volumetriche di scarto maggiori a livello globale, europeo e nazionale. La loro gestione rappresenta uno dei punti cardine dell'ingegneria ambientale i quali scopi sono la tutela delle risorse naturali minerarie e la riduzione dei volumi destinati allo smaltimento finale.

1.2.1 Definizioni e origini del flusso

Rientrano nella categoria tutti i rifiuti generati da opere edili, infrastrutturali e dai processi di demolizione civile ed industriale. Il flusso è eterogeneo per quanto riguarda i materiali e sono compresi:

- Frazioni minerali ed inerti: macerie di calcestruzzo, malte, mattoni, tegole, ceramiche, intonaci e pietrame;
- Materiali leganti e bituminosi: fresato d'asfalto e conglomerati bituminosi dismessi;
- Materiali metallici: armature in acciaio per calcestruzzo armato, tubazioni, elementi in rame, alluminio e ferro;
- Frazioni legnose e sintetiche: legname da carpenteria, pannelli in cartongesso, materie plastiche, vetro ed isolanti termici o acustici;
- Terre e rocce da scavo: qualora non siano gestite come sottoprodotti all'interno dello stesso cantiere ai sensi della normativa vigente.

La composizione specifica del rifiuto dipende in maniera significativa dalla tipologia di intervento, se nuova costruzione, ristrutturazione o demolizione parziale o totale e dalle tecniche adottate in cantiere.

1.2.2 Rilevanza quantitativa e dati statistici

In termini quantitativi il settore delle costruzioni rappresenta più della metà della produzione totale di rifiuti speciali in Italia, secondo il rapporto rifiuti speciali dell'ISPRA dell'anno 2024.

In particolare, delle 172.050.550 tonnellate di rifiuto speciale prodotto in Italia 90.360.280 sono le tonnellate prodotte dal settore delle costruzioni, rappresentando circa il 52,5% del totale.

Per quanto riguarda i rifiuti speciali non pericolosi il settore delle costruzioni occupa il 55,7% del totale, corrispondente ad 89,74 milioni di tonnellate mentre i pericolosi sono 0,62 milioni di tonnellate.

Quest'ultimo dato rappresenta un punto a favore per l'economia circolare, il fatto che il 98% del rifiuto totale prodotto è non pericoloso significa che la maggior parte delle macerie sono costituite da materiale inerte recuperabile. (ISPRA, Rapporto Rifiuti Speciali, 2024/2026)

1.3 Suddivisione e classificazione dei rifiuti: codici EER (ex CER) e caratterizzazione

La corretta gestione, tracciamento e successivo trattamento dei rifiuti in ambito edilizio si occorre di una classificazione giuridica ed analitica basata su una codifica. A livello europeo e nazionale ci si avvale dell'Elenco Europeo dei Rifiuti EER (ex codici CER) recepito nell'Allegato D alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006.

L'elenco EER si compone di codici a sei cifre divise a due a due:

- le prime due cifre indicano il settore riguardante il rifiuto, in questo caso settore delle costruzioni e demolizioni;
- le seconde due cifre riguardano la specifica attività o processo produttivo all'interno del settore;
- le ultime due cifre indicano la singola tipologia di rifiuto;

Per i rifiuti di demolizione e costruzione il riferimento normativo principale è rappresentato dalla famiglia EER 17: rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione, compreso il terreno escavato proveniente da siti contaminati.

1.3.1 Caratterizzazione merceologica e codificazione delle frazioni

Viene fatta una descrizione e analisi delle principali frazioni materiali generate nei cantieri mettendo in relazione la composizione merceologica, la codifica ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e le relative destinazioni nei processi di recupero:

FRAZIONI MINERALI ED INERTI

Essi rappresentano la maggioranza del comparto di rifiuti non pericolosi prodotti in Italia.

- EER 17 01 01 cemento, elementi strutturali in calcestruzzo armato e non travi, pilastri e solai demoliti;
- EER 17 01 02 mattoni, mattonelle e ceramiche: scarti da demolizione di tramezzature, murature in laterizio e pavimentazioni;
- EER 17 01 07 miscugli di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche: frazione minerale mista derivante da demolizioni tradizionali non selettive;
- ER 17 09 04 rifiuti misti dell'attività di demolizione e costruzione: uno dei codici più importanti e maggiormente utilizzato, riguarda macerie eterogenee non pericolose. Rappresenta la materia prima in ingresso negli impianti di frantumazione e vagliatura per la produzione di MPS.

CONGLOMERATI E MISCELE BITUMINOSE

- EER 17 03 02 miscele bituminose diverse da quelle contenenti catrame: derivano dalle operazioni di scarifica e manutenzioni stradali.

MATRICE TERROSA E LITOIDE

- EER 17 05 04 terre e rocce, diverse da quelle della voce 17 05 03: terreno naturale, sabbie, ghiaie e roccia derivanti da opere di scavo. Qualora non rientrino nel regime dei sottoprodotti (D.P.R. 120/2017) o nel riutilizzo in sito ai sensi dell'Art. 185 del D.Lgs. 152/2006, vengono gestite come rifiuto e destinate a operazioni di riempimento e rimodellamento morfologico.

FRAZIONI METALLICHE

- EER 17 04 05 ferro e acciaio: armature del calcestruzzo, profili metallici e tubature

FRAZIONI LEGGERE, LEGANTI E DA FINITURA

- EER 17 02 01 legno: tavolette da cantiere e travi dismesse
- EER 17 08 02 materiali da costruzione a base di gesso: pannelli di cartongesso e intonaci (D.Lgs. 152/2006) (European Commission, 2018)

1.3.2 Rifiuti pericolosi, voci specchio e quadro del D.lgs. 152/2006

I codici EER segnati con un asterisco identificano i rifiuti pericolosi. Secondo l'articolo 184 e del D.lgs. 152/2006, la pericolosità è definita dal possesso di una o più caratteristiche di pericolo secondo i codici da HP 1 ad HP 15.

È presente la distinzione tra pericolosi assoluti e voci specchio all'interno della normativa.

Con pericolosi assoluti si intendono i rifiuti consideranti pericolosi indipendentemente dalla concentrazione di inquinante al suo interno. Un esempio è EER 17 06 05 che indica materiali da costruzione contenente amianto.

Voci a specchio sono le coppie di codice EER relative al medesimo materiale, uno pericoloso con asterisco e uno non pericoloso la cui classificazione dipende dalle analisi chimiche svolte in laboratorio.

I casi di maggior rilievo di voci a specchio regolati dal D.Lgs. 152/2006 sono i seguenti:

- Terre e rocce 17 05 03* risultanti pericolosi con superamento della concentrazione soglia di contaminazione mentre 17 05 04 riguardano i non pericolosi;
- Miscele bituminose 17 03 01* contenenti catrame di carbon fossile mentre 17 03 02 riguardano i non pericolosi;
- Materiali isolanti 17 06 03* contenenti sostanza nocive mentre 17 06 04 non sono pericolosi;

Una volta dimostrato tramite analisi chimiche in laboratorio l'assenza di caratteristiche di pericolo HP il rifiuto può essere classificato come con codice non pericoloso e inviato all'impianto di recupero autorizzato per la successiva trasformazione in materia prima secondaria MPS. (D.Lgs. 152/2006)(Linee Guida SNPA n. 24/2020)

2 LA FILIERA DEI RIFIUTI DERIVANTI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE: LOGISTICA E CESSIONE

2.1 La demolizione selettiva in cantiere e la caratterizzazione preventiva

Nel contesto della transizione verso l'economia circolare l'ambiente costruito e industrializzato rappresenta la fonte principale da cui ricavare i materiali. I materiali presenti sono paragonabili alle risorse naturali ancora presenti in cava.

La demolizione selettiva rappresenta l'approccio fondamentale per la trasformazione di materiale edilizio dismesso in una riserva di materie prime secondarie di qualità oltre a rappresentare un elemento importante per l'efficienza logistica del cantiere.

È importante precisare l'ordine cronologico dello svolgimento delle fasi, è necessario iniziare dalla rimozione degli elementi di finitura, dagli infissi e dagli impianti. Successivamente occorre cimentarsi sulla strutta portante, in particolare una fase complessa ma imprescindibile è rappresentata dalla scomposizione del ferro delle fondamenta dal cemento con opportuni macchinari da cantiere.

La separazione alla fonte evita la formazione di accumuli in cantiere che possono creare caos e inefficienza, consentendo una gestione ordinata tramite l'utilizzo di cassoni scarrabili o container contenenti singole filiere (legno, imballaggi, plastica, metalli ecc.). Un altro vantaggio è rappresentato dal fatto che i trasporti sono sfruttabili a piena portata e a volumetria dei mezzi di trasporto dell'Albo Gestori Ambientali, riducendo il numero totale di viaggi degli autocarri e costi del carburante. Inoltre, con questa modalità si ha la certezza che il materiale movimentato rispetta i codici EER di cui si ha la possibilità di trasportare secondo licenze, evitando sanzioni.

La rimozione preventiva impedisce il blocco o danneggiamento delle attrezzature idrauliche da demolizione come pinze, frantoi ed escavatori, in quanto vengono rimosse le frazioni ingombranti e metalliche.

Nell'ambito ambientale la demolizione selettiva rappresenta l'unica difesa contro i contaminanti storici in quanto le vecchie costruzioni sono composte da materiali che all'epoca delle costruzioni risultavano idonei ma che nelle odierne normative risultano essere classificati come rifiuti pericolosi, come pannelli isolanti in EPS con ritardanti di fiamma alogenati, guaine bituminose al catrame o elementi in amianto. L'assenza di una scomposizione preventiva rappresenta vari problemi come la contaminazione incrociata del volume inerte annullando l'efficienza logistica e trasformando una massa di materiale riciclabile in un rifiuto pericoloso difficile da gestire in discarica e caratterizzato da costi molto elevati di smaltimento.

Per pianificare una corretta demolizione e garantire la purezza delle frazioni raccolte è stata istituita dalla Commissione Europea e raccomandata l'adozione del Pre-Demolition Waste Audit, ossia una procedura metodologica da eseguire prima dell'avvio dell'operazione. Il processo si articola in cinque fasi operative (figura 1.1).

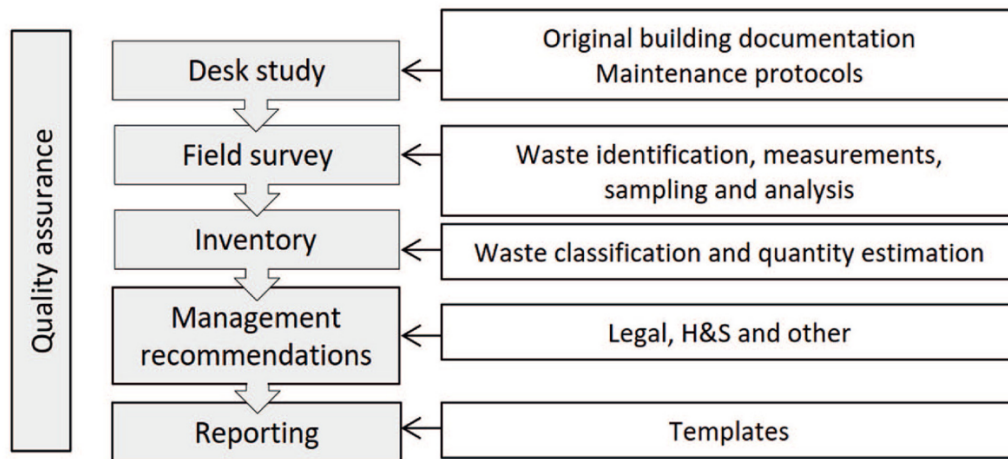


Figura 1.1 – Schema delle fasi del Pre-Demolition Waste Audit (Raskovic et al., 2020)

- Desk study: analisi documentale dei progetti originari e dei registri di manutenzione per individuare le tipologie costruttive;
- Field survey: ispezione visiva, misurazioni, campionamenti analitici di laboratorio per individuare le sostanze nocive e i materiali da rimuovere;
- Inventory: catalogazione e quantificazione ponderale e volumetrica delle frazioni di scarto con attribuzione dei codici EER;
- Management recommendations: definizione delle direttive operative di cantiere per la bonifica in sicurezza con relativo cronoprogramma di demolizione sequenziale;
- Reporting: formalizzazione del piano di gestione dei rifiuti da integrare nel piano gara;

È importante specificare che per probabile mancanza di elaborati grafici aggiornati degli edifici esistenti si occorre alle più moderne tecnologie di rilevazione 3D non invasive (laser scanning e fotogrammetria) convertiti in modelli informativi Scan-to-BIM e piattaforma WebGIS. L'integrazione di queste tecnologie permette il calcolo dei volumi di rifiuto permettendo di dimensionare la logistica dei cantieri e minimizzare i rischi finanziari. (European Commission, 2018) (Raskovic et al., 2020)

2.2 Tracciabilità e quadro normativo del trasporto di rifiuti

La gestione logistica dei rifiuti derivanti da attività di costruzione e demolizione è implementata da un ampio quadro normativo atto al controllo dalla presa in carico del trasportatore all'arrivo del rifiuto all'impianto di destinazione finale. Il controllo rigoroso dei flussi mira al controllo dello smaltimento illecito.

2.2.1 La responsabilità della gestione del rifiuto

Secondo il D.lgs. 152/2006 il produttore del rifiuto identificato con l'impresa esecutrice dei lavori di demolizione o costruzione possiede la responsabilità dell'intero ciclo di gestione fino all'avviamento della fase di recupero o smaltimento.

Dal momento in cui le macerie e i rifiuti del processo abbandonano il sito e vengono caricati sui mezzi di trasporto avviene la cessazione formale del rifiuto, affinché la responsabilità del produttore sia legalmente assolta e trasferita devono essere presenti tre condizioni:

- 1- il carico deve essere trasferito e consegnato ad un trasportatore autorizzato ed iscritto all'Albo Nazionale Gestori Ambientali per la specifica categoria di rifiuto
- 2- il materiale di rifiuto deve essere costantemente accompagnato dal formulario di identificazione del rifiuto FIR
- 3- il produttore deve ricevere il riscontro dell'avvenuta presa in carico dell'impianto di lavorazione destinatario

2.2.2 Tracciabilità digitale del rifiuto: FIR e RENTRI

Il FIR disciplinato dall'articolo 193 del D.lgs. 152/2006 è il documento di tracciabilità che accompagna la partita di materiale lungo il tragitto su strada. Il documento contiene una serie di informazioni fondamentali per la rappresentazione del materiale.

Il modulo quindi deve contenere:

- dati anagrafici e di autorizzazioni di tutta la filiera dei soggetti responsabili, ossia del produttore del trasportatore e del gestore dell'impianto destinatario;
- il codice EER rappresentante la frazione di materiale trasportata;
- lo stato fisico del rifiuto con descrizione merceologica;
- il quantitativo stimato alla partenza e la misura di peso ottenuta alla pesata all'impianto;
- la targa del veicolo, nome del conducente e l'orario e data dell'avvenuta presa in carico.

Il FIR digitale è ufficialmente operativo in Italia dal 13 febbraio 2026, data in cui è scattato l'obbligo di utilizzo tramite il sistema RENTRI e presenta alcune differenze con la modalità cartacea.

Il RENTRI (registro elettronico nazionale per la tracciabilità dei rifiuti) rappresenta oggi uno degli strumenti chiave della digitalizzazione della gestione dei rifiuti in Italia, introducendo nuovi obblighi e modalità operative per imprese ed enti.

È gestito direttamente dal ministero dell'ambiente e sicurezza energetica col supporto dell'albo nazionale gestori ambientali

L'obiettivo principale è l'aggiornamento della vecchia gestione cartacea, digitalizzandola ed evolvendola in modo che sia garantito il controllo in tempo reale della filiera dei rifiuti.

I due strumenti operativi del RENTRI sono il FIR digitale e il registro cronologico di carico e scarico digitale, consente il monitoraggio continuo dei volumi in ingresso agli impianti e della successiva trasformazione in materia prima secondaria MPS.

Il comma 5 dell'articolo 188-bis dispone che: “gli adempimenti relativi agli articoli 190 e 193 sono effettuati digitalmente da parte dei soggetti obbligati ovvero di coloro che intendano volontariamente aderirvi ai sensi del comma 3 dell'articolo 6 del decreto-legge 14 dicembre

2018, n.135; negli altri casi i suddetti adempimenti possono essere assolti mediante il formato cartaceo. In entrambi i casi la modulistica è scaricabile direttamente dal Registro elettronico nazionale”. Le imprese che sono obbligate o che vogliono volontariamente aderire al RENTRI dovranno compilare i documenti in modalità digitale, mentre le imprese che non sono obbligate o che possono volontariamente aderire dovranno compilare i documenti in modalità cartacea.

Il principale problema è rappresentato dalla compilazione in quanto le istruzioni presentano molti aspetti critici.

I soggetti obbligati all’iscrizione al RENTRI sono:

- le imprese edili che producono rifiuti speciali non pericolosi con più di dieci dipendenti e tutte le aziende che gestiscono o producono rifiuti pericolosi;
- tutti gli impianti di recupero/smaltimento e i trasportatori autorizzati all’Albo Gestori Ambientali;

(D.Lgs. 152/2006)

2.2.3 Inquadramento autorizzativo: L’Albo Nazionale Gestori Ambientali

L’albo nazionale gestori ambientali è l’organo istituito dal D.Lgs. 152/2006 Art. 212 presso il ministero dell’ambiente che seleziona e autorizza le imprese che effettuano attività di gestione dei rifiuti, in particolare è un registro pubblico italiano obbligatorio per le imprese che svolgono attività di raccolta, trasporto rifiuti, bonifica siti inquinati e/o contenenti amianto, commercio e intermediazione di rifiuti senza detenzione degli stessi. È diviso in un Comitato Nazionale con sede presso il ministero dell’ambiente e in Sezioni Regionali presso le Camere di Commercio dei capoluoghi di Regione.

È fondamentale per riconoscere i requisiti tecnici e finanziari delle aziende, per rilasciare le autorizzazioni per operare nel settore dei rifiuti, pericolosi o non, e controllare chi si occupa di bonifiche di siti inquinati o di beni contenenti amianto.

Le categorie principali si dividono in base al settore operativo.

TRASPORTO RIFIUTI, occorre avere determinate licenze:

- Categoria 2bis; per il trasporto in conto proprio, ossia alle imprese che trasportano rifiuti speciali non pericolosi prodotti dalle proprie attività
- Categoria 4; analoga alla 2bis ma per le imprese che trasportano rifiuti speciali non pericolosi prodotti da terzi
- Categoria 5; per il trasporto di rifiuti PERICOLOSI
- Categoria 1; per la raccolta e gestione dei rifiuti urbani, spesso utilizzata dai gestori comunali

INTERMEDIAZIONE E COMMERCIO

- Categoria 8; intermediazione e commercio di rifiuti senza detenzione utile a commercianti che organizzano il recupero e lo smaltimento dei rifiuti per conto dei terzi senza mai toccare o stoccare in magazzino il rifiuto

BONIFICHE

- Categoria 9; bonifica di siti inquinati
- Categoria 10; bonifica dei beni contenenti amianto che a sua volta si divide in Sottocategoria 10A per edilizia contenente amianto legato in matrice cementizia o resinosa e 10B per materiali d’isolamento contenenti amianto

Per quanto riguarda le categorie di trasporto rifiuti e intermediazione sono presenti più classi, determinate in base al quantitativo di rifiuto gestito annualmente:

- Classe A: superiore o uguale a 500.000 tonnellate
- Classe B: tra 200.000 e 500.000 tonnellate

- Classe C: tra 60.000 e 200.000 tonnellate
- Classe D: tra 15.000 e 60.000 tonnellate
- Classe E: tra 3.000 e 15.000 tonnellate
- Classe F: inferiore a 3.000 tonnellate

È opportuno specificare che per ottenere le licenze occorre adempire determinati requisiti. È opportuno che sia presente il Responsabile Tecnico Gestione Ambientali (RTGA), ossia una figura che può essere interna all'azienda o un consulente esterno che ha superato gli esami di idoneità previsti dall'Albo e possiede i requisiti di esperienza lavorativi per affiancare l'azienda.

L'impresa deve provare una solidità finanziaria e un'idoneità dei veicoli usati per il trasporto, devono essere inseriti nel provvedimento dell'Albo con relativa targa, della portata i relativi codici EER autorizzati.

Infine, occorre l'onorabilità, ossia l'assenza di condanne penali o reati ambientali in capo al legale rappresentante. (D.Lgs. 152/2006) (Albo Nazionale Gestori Ambientali)

2.2.4 campionamento ed analisi del rifiuto

Il codice EER non può essere stimato solo attraverso ispezione visiva, in quanto risulta complicata nel caso di composizioni eterogenee o in presenza di voci a specchio, occorre svolgere il processo di campionamento e analisi del materiale in accordo alla norma UNI 10802 "rifiuti-campionamento manuale" ed al quadro di riferimento comunitario UNI EN 14899.

Norma UNI EN 14899 è la norma europea quadro che definisce la metodologia generale per progettare e sviluppare un campionamento. All'interno non sono presenti dettagli specifici operativi ma ne stabilisce la logica.

Norma UNI 10802 è la norma tecnica italiana dettagliata che attua operativamente la UNI EN 14899, specifica le procedure pratiche per il prelievo manuale dei campioni, le modalità per la riduzione delle pezzature di campione e le istruzioni per la preparazione degli eluiti mediante test di cessione.

L'applicazione di tale processo garantisce che l'aliquota sottoposta ad analisi sia rappresentativa statisticamente dell'intero lotto, in questo modo sono tutelati sia produttore che trasportatore.

L'efficacia del processo di campionamento è legata all'esecuzione di un "audit pre-demolition" condotto sul campo prima dell'avviamento delle operazioni di smaltimento o riciclo.

L'ispezione e il prelievo di campioni direttamente sulle strutture edili forniscono notevoli vantaggi come:

- individuazione e rimozione alla fonte dei contaminanti critici come i leganti asfaltici, le vernici contenenti metalli pesanti e solfati derivanti prevalentemente da residui di gesso e cartongesso, la sua elevata solubilità causa il superamento dei limiti di cessione previsti per l'end of waste. Inoltre, a livello prestazionale, la presenza di solfati nell'aggregato riciclato innesca la formazione di ettringite tardiva nei manufatti cementizi o nei sottofondi provocando il degrado strutturale dell'opera. Se mescolati nel cumulo questi elementi compromettono il superamento dei test di lisciviazione, prova di laboratorio volta a simulare il dilavamento meteorico e a quantificare il rilascio di inquinanti nell'eluato ad un rapporto $L/S = 10 \text{ l/Kg}$, e non permettendo il raggiungimento dello stato di "end of waste";
- ridurre la variabilità in quanto un campionamento preliminare consente di pianificare la demolizione selettiva garantendo all'impianto di lavorazione flussi di rifiuti omogenei riducendo le sanzioni o i respingimenti di carichi al momento dell'accettazione e del trasporto;

Un importante tecnica basata sull'uso di tecnologie con strumenti portatili utilizzabili direttamente sul campo come pXRF, fluorescenza a raggi X, per identificare la presenza di metalli pesanti all'interno di vernici e intonaci, o la spettroscopia NIR per distinguere polimeri, cartongesso e inerte, rappresentano una comodità per il campionamento direttamente in cantiere. (UNI 10802, 2013)(UNI EN 14899, 2006) (Luciano et al., 2022) (Youcai et al., 2016).

2.3 Siti e impianti di conferimento

Gli impianti di conferimento e stoccaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione rappresentano il punto chiave in cui il rifiuto, una volta prelevato dal cantiere d'origine e trasportato, viene preso in carico e viene avviato il processo di trasformazione in materia prima secondaria MPS con conseguente valorizzazione di esso.

Tali siti di conferimento operano all'interno di un articolato quadro normativo regolato dal D.Lgs. 152/2006 (TUA) volto a perseguire la gerarchia europea dei rifiuti che privilegia il recupero anziché lo smaltimento in discarica.

2.3.1 Quadro normativo e autorizzativo

Nessun impianto di conferimento può far entrare rifiuti provenienti da costruzione e demolizione senza specifici permessi e autorizzazioni forniti dai competenti organi di Regione o Provincia.

In particolare, un impianto può essere avviato solo se viene fornita, di solito dalla Provincia, l'Autorizzazione Unica per i Rifiuti (Art.208 del D.lgs. 152/2006) a seguito della conferenza dei servizi, un tavolo tecnico in cui l'ente procedente e tutti gli enti pubblici e gli organi di controllo esaminano il progetto di un impianto. Ad esempio, in Veneto risulta cruciale il parere consultivo di A.R.P.A.V., un ente pubblico della Regione che a sua volta fa parte del Sistema nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA).

L'autorizzazione approva il progetto globale del sito, definisce i quantitativi massimi giornalieri e annui di rifiuti conferibili e impone garanzie finanziarie per la tutela del sito. Questa autorizzazione ha una data di inizio e scadenza e occorre richiedere il rinnovo non prima di un anno ed entro sei mesi dalla sua scadenza. Inoltre, il provvedimento è adottato sulla base della normativa vigente e di atti di organizzazione interna.

Affinché vi sia immediatezza nell'avvio dell'attività dell'impianto, purché vi sia rispetto delle norme tecniche vigenti, si può ricorrere alla Procedura Semplificata per il Recupero per imprese che effettuano operazioni di recupero R5 – recupero/riciclaggio di altre sostanze inorganiche- rappresenta l'operazione di trattamento meccanico come frantumazione, selezione granulometrica, vagliatura e deferrizzazione.

Occorre presentare una comunicazione di inizio attività alla Provincia o Città Metropolitana competente.

Per poter operare secondo la procedura semplificata l'impianto deve garantire che i rifiuti siano solo di tipo non pericoloso e che si rispettino le prescrizioni del D.M. 5 febbraio 1998 che stabilisce per ogni rifiuto la provenienza, la metodologia di trattamento e le caratteristiche del prodotto finale ottenuto. Inoltre, è presente un limite quantitativo di soglia e 90 giorni di silenzio assenso.

È presente anche l'Autorizzazione Unica Ambientale che disciplina in particolare le autorizzazioni alle emissioni in atmosfera disciplinando sistemi di abbattimento delle polveri provocate dai movimenti nel piazzale, le pavimentazioni devono essere mantenute in buono stato, inserisce disposizione per le vie di transito e tutta una serie di precauzioni volte alle emissioni in atmosfera, e le autorizzazioni allo scarico delle acque reflue con tutta una serie di comportamenti da dover osservare. (D.Lgs. 152/2006) (D.P.R. 59/2013-AUA) (D.M. 5 febbraio 1998)

2.3.2 L'evoluzione del Quadro Normativo sull'End of Waste: Dal D.M. 152/2022 al D.M. 127/2024

La cessazione della qualifica di rifiuto End-of-Waste è regolamentata dall'Art. 184 ter del D.Lgs. 152/2006. Affinché un materiale cessi di essere qualificato come rifiuto e diventi materia prima secondaria deve soddisfare specifiche condizioni. Per anni si è fatto riferimento a normative datate come il D.M. 5 febbraio 1998 o ad autorizzazioni caso per caso rilasciate dalle singole Provincie o Regioni creando disparità territoriali e incertezze legali.

Il primo tentativo per sopperire queste problematiche è avvenuto con l'emanazione del D.M. 27 settembre 2022, n.152 – Regolamento che disciplina la cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione.

Questo regolamento ha presentato parecchie criticità, uno di questi era i limiti troppo stringenti sui test di cessione. I valori limite di alcuni parametri di rilascio nell'eluio prescritti per certificare l'End of Waste erano vicini ai limiti delle acque potabili. Questo era un problema in quanto numerosi impianti facevano fatica a promuovere il materiale in MPS, specialmente in presenza di solfati derivanti da intonaci e gesso. Un altro limite era la limitata lista dei codici EER ammessi alla lavorazione, escludendo numerosi materiali inerti derivanti da attività estrattive e industriale e la rigidità delle opzioni di impiego in quanto gli usi consentiti per gli aggregati recuperati non erano forniti di uno sbocco commerciale consono.

Per questi motivi è stato emanato il D.M. 10 luglio 2024, n. 127 dove sono stati rimodulati i limiti dei test di cessione, vi è stato l'ampliamento dell'elenco dei codici EER dove prima vi erano inclusi solo i codici della categoria 17, cioè delle tradizionali macerie edili e l'estensione delle destinazioni d'uso, gli aggregati riciclati possono essere impiegati in un ampio elenco di opere di ingegneria civile.

Inoltre, è stato redatto formalmente il lotto di aggregato recuperato modificato in un quantitativo omogeneo non superiore a 3.000 m^3 . Su ciascun lotto l'impianto è tenuto ad effettuare la campionatura identificata dalla UNI 10802, i test di laboratorio ed emettere la Dichiarazione di Conformità (DDC) che deve essere conservata per 5 anni ed essere a disposizione delle autorità di controllo.

Analizzando 2.500 certificati analitici da laboratorio provenienti da 28 impianti di riciclo italiani è stato provato che oltre il 99 % dei campioni analizzati risulta pienamente conforme ai limiti End of Waste del D.M. 127/2024, il rilascio nell'eluio risulta conforme. Rilasci leggermente maggiori di COD si osservano nei materiali contenenti suolo/terra (CER 17 05 04), mentre rilasci più elevati di cromo totale caratterizzano i rifiuti a base cementizia (CER 17 01 01).

I parametri critici risultano essere gli idrocarburi pesanti per quanto riguarda i parametri chimici della matrice solida, in particolare idrocarburi $C>12$ derivanti da miscele bituminose o scavi, non conforme nel 22% dei casi, ciò ha reso indispensabile la rimodulazione dei limiti in funzione degli effettivi utilizzi dell'aggregato. (D.M. 152/2022) (D.M. 127/2024) (Sorlini et al., 2026) (Oltre Il Green, 2024)

2.3.3 Gestione impianto e layout

La gestione di un impianto di conferimento e trattamento di rifiuti da costruzione e demolizione richiede una rigorosa pianificazione volta a garantire la tracciabilità delle partite di materiale ed evitare la contaminazione incrociata tra flussi di materiali diversi.

Affinché un sito sia efficiente è importante l'interazione tra le procedure di controllo al varco d'ingresso e la suddivisione delle aree di stoccaggio e movimentazione, precisamente Gate Control e Layout d'Impianto.

GATE CONTROL

L'accettazione del rifiuto in ingresso rappresenta la prima barriera fisica e tecnica dell'impianto. Ogni autocarro viene sottoposto ad una serie di azioni di controllo standardizzati prima che lo scarico in impianto venga autorizzato.

Il primo step riguarda la verifica dei documenti e tracciabilità digitale, in particolare l'operatore dell'impianto riceve dal trasportatore il formulario di identificazione del rifiuto e viene accertata la corretta corrispondenza del codice EER dichiarato con quanto trasportato, la descrizione merceologica del carico, i codici autorizzati dall'impianto e l'iscrizione del trasportatore alla corretta categoria dell'Albo Nazionale Gestori Ambientali, come categoria 2-bis, 4 o 5.

Successivamente avviene la pesata sulla pesa all'ingresso dell'autocarro volta a misurare la massa lorda. Una volta scaricato il materiale l'autocarro svolge una seconda pesata per determinare la tara del veicolo e successivamente calcolato il peso netto del rifiuto, registrato e trasmesso al registro cronologico di carico e scarico sul RENTRI.

All'accesso all'area della pesa il veicolo transita attraverso un portale di rilevamento radiometrico a scintillazione per determinare l'assenza di sorgenti radioattive o anomalie dovute a radionuclidi presenti nei carichi di demolizione o scavo.

Un importante ruolo viene svolto dall'addetto all'accettazione che ha il compito di verifica a vista della composizione del cumulo sul cassone prima e durante lo scarico accertandosi che non vi siano frazioni non autorizzate o pericolose come, per esempio, l'amianto.

Qualora si riscontrino discrepanze rispetto a quanto dichiarato sul FIR o dubbi su codici a specchio il codice non viene immesso nelle aree di stoccaggio ma viene posizionato nell'area di quarantena adeguata e delimitata. In questo settore si provvede allo scarico del rifiuto, isolamento e campionamento secondo la norma UNI 10802. In caso di esito negativo il carico viene respinto con annotazione sul FIR digitale e comunicazione agli organi di controllo.

LAYOUT D'IMPIANTO

Il layout planimetrico di un impianto è ottimizzato per prevenire rischi di interferenza tra macchine operatrici e autocarri in transito e garantire la separazione fisica tra i vari materiali.

Come determinato dalle indagini statistiche condotte sugli impianti di riciclo italiani il rifiuto in ingresso è dominato dal materiale dal codice EER 17 09 04, ossia rifiuti misti da demolizione, pari al 70% dei conferimenti, seguiti da terre e rocce da scavo EER 17 05 04 e frazioni omogenee di calcestruzzo 17 01 01. Per questo motivo l'impianto possiede una suddivisione funzionale in diverse macroaree:

- Zona di accesso e pesatura dove avvengono la maggioranza dei controlli del processo Gate Control, comprende la viabilità in ingresso, gli uffici e l'accettazione, la pesa e il portale radiometrico;
- Baie di stoccaggio dei rifiuti in ingresso delimitate da setti in calcestruzzo distinti per codice EER: baia strutturale calcestruzzo pulito EER 17 01 01, baia laterizi mattonelle e ceramiche EER 17 01 02, baia macerie miste EER 17 09 04, baia terre e rocce da scavo non pericolose EER 17 05 04, baia miscele bituminose/ fresato d'asfalto EER 17 03 02;

- Area linea di trattamento meccanico (operazione R5), spazio destinato all'alimentazione dei macchinari come tramogge di carico, frantoi, nastri con deferrizzatori magnetici, separatori ad aria e vagli per selezione granulometrica;
- Baie di stoccaggio dei prodotti finiti, aree pavimentate dedicate all'accumulo di aggregato recuperato suddivisi per frazione granulometrica e organizzati per singoli lotti di produzione omogenea (fino a 3.000 m^3) in attesa del rilascio della Dichiarazione di Conformità (DDC) e della marcatura CE;
- Baie dei sovvalli e rifiuti di scarto per lo stoccaggio temporaneo delle frazioni rimosse dal processo come ferro, legname e plastiche.

Il layout dell'impianto deve integrare presidi tecnici in conformità alle prescrizioni dell'Autorizzazione Unica Ambientale volti alla protezione delle matrici aria, acqua e suolo.

Tutte le superfici di transito e le baie di messa in riserva dei rifiuti devono essere realizzate con pavimentazioni industriali impermeabili in calcestruzzo armato con opportune pendenze per convogliare le acque meteoriche verso la rete di drenaggio.

Le acque di dilavamento del piazzale sono convogliate in una vasca dimensionata per i primi 5 mm di precipitazione dotata di dissabbiatore per i solidi sospesi e disoleatore per l'intercettazione di eventuali idrocarburi.

Inoltre, è presente un sistema di abbattimento di polveri diffuse per mitigare le emissioni provocate dal transito dei mezzi e dallo scarico delle macerie. Il sito deve essere provvisto di cannoni nebulizzatori ad acqua, rampe di bagnatura e sistemi di lavaggio ruote posizionati prima dell'uscita dal sito. (D.Lgs. 152/2006) (Sorlini et al., 2026)

3 IL PROCESSO DI VALORIZZAZIONE: DA RIFIUTO A MATERIA PRIMA SECONDARIA (MPS)

3.1 Inquadramento concettuale e operazioni fisiche e meccaniche di recupero (R5)

La transizione dal modello lineare “estrazione-produzione-smaltimento” al modello circolare nel settore delle costruzioni richiede di trasformare rifiuti minerali eterogenei in aggregati riciclati possedenti caratteristiche fisico-meccaniche equivalenti ai materiali naturali estratti in cava. Tale trasformazione è l’esito di un processo industriale di raffinazione meccanica, in particolare denominata come operazione R5, al termine del quale il materiale deve soddisfare determinati requisiti.

3.1.1 Il fondamento giuridico: l’Articolo 184-ter del D.lgs. 152/2006

Ai sensi dell’Art.184-ter del D.Lgs. 152/2006 un rifiuto cessa di essere tale quando è sottoposto a un’operazione di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo, e soddisfa criteri specifici, da adottare nel rispetto delle seguenti condizioni:

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

Fino al completamento dell’intero iter di trattamento, campionamento ed emissione della dichiarazione di conformità il rifiuto rimane categorizzato sia formalmente che giuridicamente come rifiuto speciale sottoposto agli obblighi di tracciabilità prima elencati. (D.Lgs. 152/2006) (Direttiva 2008/98/CE)

3.1.2 Il ciclo di valorizzazione: le operazioni meccaniche e fisiche (operazione R5)

Il rifiuto grezzo in ingresso in sito si presenta come una miscela con eterogeneità volumetrica, presenza di impurità come legno, plastica, armature in acciaio e guaine, ed una maggiore porosità.

Le opzioni di recupero rifiuti, definite con la lettera R, sono un insieme di processi volti a recuperare e successivamente riutilizzare materiali considerati rifiuti. Sono presenti sia il processo di riciclo che di compostaggio, quest’ultimo permette di trasformare i rifiuti organici in compost, un fertilizzante naturale per le piante, avviene tramite maturazione biologica controllata in ambiente aerobico di sostanza organica fermentescibile di diversa origine, è un processo maturato da diversi tipi di microorganismi. L’utilizzo dei termovalorizzatori permette la conversione dei rifiuti di alcune tipologie in energia termica. È preferito il sistema di recupero materiali e minimizzazione rispetto al recupero energetico tramite il principio delle 3 R: riduci, riusa e ricicla.

Nell’ambito delle costruzioni si fa maggiormente uso dell’operazione R5, consiste nel processo di riciclaggio e recupero di sostanze inorganiche presenti nei rifiuti, come materiali ceramici, refrattari, cementi, vetri e minerali. Questi materiali possono essere recuperati attraverso diverse operazioni di frantumazione, selezione, lavaggio e raffinazione, per ottenere nuovi materiali utilizzabili in diversi settori industriali. In particolare, ha lo scopo di regolarizzare la geometria dei granuli e uniformare la distribuzione granulometrica mediante una sequenza in catena di operazioni fisiche e meccaniche.

L'operazione R13, messa in riserva di rifiuti, consiste nella collocazione dei rifiuti in un sito specifico, in attesa di essere sottoposti a una delle operazioni indicate nei punti R1-R12. Questa pratica permette di separare i rifiuti in base alla loro tipologia e alle caratteristiche, al fine di effettuare un trattamento adeguato ed efficace.

L'operazione R5 si compone di più step:

- Pre-selezione e sgrossatura meccanica/manuale: il materiale prelevato dalle baie di messa in riserva viene immesso nella linea tramite tramogge provviste di griglie statiche o vibranti in modo che i massi incompatibili con le dimensioni della bocca del frantoio vengano intercettati e ridotti tramite pinze cesogiatrici o martelloni posti sull'escavatore. Inoltre, mediante ragni meccanici vengono rimossi gli elementi ingombranti non litoidi come travi di legno, tubi in PVC, cavi elettrice ed elementi in cartongesso.
- Frantumazione primaria: il materiale sgrossato viene introdotto nel frantoio primario in cui subisce una diminuzione volumetrica portando le dimensioni del singolo pezzo ad un diametro massimo di 80-100 mm. Vengono utilizzati principalmente i frantoi a mascelle, costituiti da due mascelle, una fissa e una mobile che applica una forza di compressione pura sul blocco. È l'opzione migliore per materiali duri e abrasivi riducendo l'usura dei componenti meccanici e la produzione di polveri. Inoltre, vengono utilizzati i frantoi ad impatto primari, sfruttano rotori a pale rotanti che scagliano ad alta velocità il materiale contro corazzature.
- Deferrizzazione magnetica continua: lungo i nastri trasportatori del frantoio primario, posti a valle, sono presenti separatori magnetici a nastro crociato. In particolare, un magnete attrae le componenti metalliche riversandoli su un nastro trasversale espellendoli in modo continuo verso una baia dedicata. In questa maniera vengono protetti i macchinari di raffinazione posti a valle da blocchi e usure anomale.
- Separazione aerodinamica e fluidodinamica: le frazioni contaminate leggere a bassa densità in materiali come plastica, polistirolo, carta, legno e residui di guaine bituminose che hanno dimensioni simili al resto non possono essere eliminati per vagliatura, vengono usati strumenti divisori che sfruttano la diversa densità dei materiali. Vengono utilizzati separatori a lama d'aria come vagli d'aria in cui un flusso d'aria laminare ad elevata velocità raggiunge la cascata di materiale tra due nastri trasportatori. La frazione pesante continua il tragitto per gravità, mentre quella leggera viene deviata e aspirata verso tramogge di stoccaggio. Un altro metodo avviene all'interno di un liquido sfruttando la differenza di peso specifico per separare plastiche galleggianti e frazioni di gesso solubili.
- Frantumazione secondaria e terziaria. Il materiale semilavorato viene inviato ad una seconda unità di frantumazione. Vengono usati mulini a martelli, frantoi a cono e frantoi a impatto ad asse verticale (VSI). Gli obiettivi sono la riduzione granulometrica, generalmente diametri 0-30 mm o 0-15 mm, e il miglioramento geometrico del granulo. In particolare, viene data una forma poliedrica al granulo, importante per aumentare l'indice di compattazione e l'angolo di attrito interno negli impieghi geotecnici e stradali. Questo grazie agli impatti ad alta velocità in grado di distaccare la pasta cementizia superficiale residua e alla frantumazione degli spigoli allungati.
- Vagliatura e classificazione: l'aggregato raffinato viaggia su una serie di vagli vibranti a scossa dotati di reti a maglia con dimensione dei pori differenti. Il materiale viene separato nelle differenti frazioni commerciali standardizzate. In particolare, per la sabbia si hanno dimensioni 0-2 mm denominata "sabbia fine" utilizzata per intonaci e malte fini, 0-5 mm "sabbia standard" utilizzata per calcestruzzi e massetti. Per la ghiaia si hanno i seguenti intervalli: 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm, 30-60 mm o superiori, si distinguono per i vari utilizzi. Per i misti e stabilizzati si hanno dimensioni di 0-15 mm

o 0-30 mm per i sottofondi e 0-25 mm o 0-40 mm per il materiale stabilizzato per la realizzazione di strade o piazzali.

Al termine sono presenti sistemi di aspirazioni polveri e/o getti nebulizzati d'acqua per il controllo delle emissioni diffuse e per la pulizia delle superfici dei granuli. (D.Lgs. 152/2006) (Youcai et al., 2016) (Lavagnolo, 2026)

3.1.3 La cessazione formale della qualifica di rifiuto

In seguito ad aver completato i passaggi di trattamento meccanici l'aggregato riciclato viene depositato nelle baie opportune. Il materiale è organizzato in lotti omogenei di produzione aventi volume massimo di 3.000 m³, ai sensi del D.M. 127/2024.

Successivamente ciascun lotto viene sottoposto al campionamento rappresentativo secondo le norme vigenti UNI EN 10802/ UNI EN 14899, verifiche analitiche ambientali e controlli prestazionali e geotecnici.

Solo all'esito positivo delle prove analitiche e con la sottoscrizione della dichiarazione di conformità DDC da parte del legale responsabile dell'impianto, si ottiene la cessazione della qualifica di rifiuto e il lotto diviene materia prima secondaria MPS, pronto ad essere commercializzato ed impiegato. (D.M. 127/2024) (UNI EN 10802, 2013)

3.2 Requisiti chimico-ambientali e comportamento di lisciviazione (D.M. 127/2024)

L'ottenimento dell'End of Waste è subordinato dalla verifica della compatibilità ambientale dell'aggregato riciclato ai sensi del D.M. 127/2024. Tale riscontro accerta che l'introduzione del materiale nei cicli costruttivi non provochi danni d'inquinamento ambientale come la contaminazione per contatto diretto e per il rilascio d'inquinanti trasportati dalle acque di infiltrazione.

All'interno dell'allegato 1 del D.M. 127/2024 è presente la disciplina tecnica basata su due livelli di controllo: la quantificazione del contenuto totale di inquinanti nella matrice solida, valori rappresentati nella tabella 2, e la misurazione del rilascio di contaminanti nell'eluato tramite test di lisciviazione, valori rappresentati nella tabella 3.

3.2.1 Contaminanti nella matrice solida

I valori di soglia vengono differenziati in base all'uso e destinazione del materiale. All'interno della tabella 2 dell'allegato 1 del D.M. 127/2024 sono presenti tre colonne, ciascuna indica i valori limite di concentrazione per la matrice solida alle destinazioni d'uso ammesse dall'allegato 2.

Tabella 3.1 – Concentrazioni limite nella matrice solida ai sensi dell'Allegato 1, Tabella 2 del D.M. 127/2024.

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni limite di utilizzo a) allegato 2	Concentrazioni limite di utilizzo da b) a g) allegato 2	Concentrazioni limite di utilizzo h) e i) allegato 2
Amianto	mg/kg	100 (1)	100 (1)	100(1)
C>12	mg/kg	50	750	
Benzo(a)pirene	mg/kg	0.1	10	
Sommatoria IPA	mg/kg	10	100	
Benzene	mg/kg	0.1	2	
PCB	mg/kg	0.06	5	
Cromo VI	mg/kg	2	15	

Nella tabella 3.1 sono rappresentati in maniera sintetica i parametri guida e le relative soglie limite ammesse.

Per utilizzi di cui la lettera a) si intendono recuperi ambientali e riempimenti. Da come si nota i limiti sono restrittivi rispetto gli altri utilizzi col fine di limitare accumuli di sostanze persistenti nel terreno.

Utilizzi di cui alle lettere da b) a g) riguardano le opere di ingegneria civile e strutturale dove i valori limite sono proporzionati alle reali condizioni di utilizzo in quanto il materiale risulta confinato e protetto da pavimentazioni.

Utilizzi di cui alle lettere h) e i) riguardano produzioni di clinker e calcestruzzi. L'unico parametro inderogabile risulta essere l'amianto mentre per le frazioni organiche e gli idrocarburi i limiti non sono applicabili per via del trattamento termico ad elevata temperatura

e della stabilizzazione fisica all'interno della matrice legata. (D.M. 127/2024) (Sorlini et al., 2026)

3.2.2 Il test di lisciviazione e i parametri limite nell'eluato

Il D.M. 127/2024 impone l'esecuzione della prova di lisciviazione batch in accordo con la norme UNI EN 12457-2 per determinare la quantità dei contaminanti solubili ad opera delle acque d'infiltrazione. Viene simulato il comportamento ambientale del materiale a lungo termine.

La prova prevede l'estrazione a singolo stadio di aggregato con relativa granulometria <4 mm e successivamente miscelata con acqua deionizzata secondo un rapporto liquido/solido

L/S= 10 l/kg e mantenuta in agitazione per 24 ore a temperatura ambiente. Importante che l'agitazione non provochi abrasione meccanica del grano. Al termine dell'agitazione si procede alla filtrazione a membrana con pori da 0,45 µm. il filtrato ottenuto viene suddiviso in aliquote, stabilizzato e analizzato chimicamente. Devono essere rispettati i valori limite fissati nella tabella 3 dell'allegato 1 del D.M. 127/2024 (tabella 3.2).

Tabella 3.2 – Limiti di concentrazione nell'eluato per il test di cessione (Allegato 1, Tabella 3 del D.M. 127/2024).

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni limite
Nitrati	mg/l	50
Fluoruri	mg/l	1.5
Cianuri	µm/l	50
Bario	mg/l	1
Rame	mg/l	0.05
Zinco	mg/l	3
Berillio	µm/l	10
Cobalto	µm/l	250
Nichel	µm/l	10
Vanadio	µm/l	250
Arsenico	µm/l	50
Cadmio	µm/l	5
Cromo totale	µm/l	50
Piombo	µm/l	50
Selenio	µm/l	10
Mercurio	µm/l	1
COD	mg/l	30
Solfati	mg/l	750
Cloruri	mg/l	750
pH		5.5< >12.0

L'insieme dei controlli include parametri chimico-fisici come pH e COD, le concentrazioni dei principali anioni organici come solfati, cloruri, fluoruri e nitrati ed elementi metallici.

Su 33 campioni di rifiuto da demolizione e costruzioni raccolti in 11 impianti diversi dimostra quanto la demolizione selettiva sia una tecnica fondamentale. È stato dimostrato che la presenza di intonaci e laterizi porta ad un rilascio di solfati espresso per unità di massa cento volte superiore al calcestruzzo non miscelato a causa della rapida dissoluzione del gesso negli intonaci. In particolare, valori compresi tra 57 mg/kg e 1900 mg/kg contro 8.2 mg/kg e 22 mg/kg del calcestruzzo puro.

Inoltre, riguardo alla matrice solida, è stato analizzato la presenza di microinquinanti persistenti come PCB e IPA nella matrice minerale e in lotti contenenti asfalto e bitume. Nella matrice minerale la presenza di inquinanti è trascurabile, mentre nei campioni contenenti bitume sono stati registrati picchi significativi di IPA.

L'analisi di 2500 certificati d'impianto di 28 impianti italiani ha confermato che il 99% dei campioni rispetta i limiti di lisciviazione della tabella 3 dell'allegato 1 del D.M. 127/2024, con superamenti dei solfati ridotti allo 0,2% grazie al limite fissato a 750 mg/l.

Per quanto riguarda la matrice solida, la colonna sulle opere infrastrutturali della tabella 2 allegato 1 D.M. 127/2024 ha permesso al 90% dei lotti analizzati di ottenere la qualifica di materia prima secondaria. (D.M. 127/2024) (Sorlini et al., 2026) (Butera, Christensen e Astrup, 2014) (UNI EN 12457-2, 2004)

3.3 Analisi geotecnico-prestazionale e marcatura CE

Oltre all'attestato di conformità chimico-ambientali, necessario ma non sufficiente, occorre che l'aggregato riciclato sia provvisto di adeguati requisiti fisico-meccanici attestati attraverso la marcatura CE in conformità al regolamento (UE) n. 305/2011. Il materiale riciclato, per considerarlo idoneo all'impiego, deve essere caratterizzato con prove geotecniche di laboratorio. Le caratteristiche prestazionali degli aggregati di riciclo derivano dalla circolare MIT 5205/05, recepite e aggiornate all'interno delle norme UNI EN e delle Norme Tecniche per le Costruzioni N.T.C.. Le verifiche dovranno essere obbligatoriamente eseguite da laboratori ufficiali autorizzati dal Ministero Infrastrutture e Trasporti ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. 380/2001, come previsto nelle N.T.C. del 14/01/2008.

3.3.1 Elenco delle prove geotecniche di laboratorio e normative di riferimento

I principali parametri prestazionali e le relative prove comprendono:

- COMPOSIZIONE DELLE MISCELE CONTENENTI AGGREGATI DI RICICLO

La norma UNI EN 13285 definisce i requisiti per le miscele non legate destinate alle infrastrutture mentre la UNI EN 933-11 è il metodo di prova standard per la classificazione dei costituenti degli aggregati grossi riciclati, con pezzatura da 4 mm a 63 mm. Quest'ultima identifica la composizione in percentuale i diversi materiali di cui un aggregato riciclato è composto.

Il campione viene analizzato suddividendolo in classi specifiche

- Rc: calcestruzzo e malta
- Rb: elementi in mattoni, laterizio e ceramici
- Ra: conglomerato bituminoso e fresato d'asfalto
- Rg: vetro
- FL: materiali a bassa densità, come legno, plastica e gomma
- X: frazioni estranee metalliche e minerali

- REQUISITI GRANULOMETRICI

La UNI EN 933-1 determina la distribuzione granulometrica tramite setacciatura a maglie decrescenti. Il campione viene lavato per separare le parti fini e rimuovere la polvere, successivamente il materiale viene essiccato in stufa a 105 °C. il materiale asciutto viene fatto passare attraverso una serie di setacci con apertura decrescente e ad ogni setaccio viene pesata la frazione trattenuta per calcolare la percentuale di passante e determinare la curva granulometrica. Se il passante fine risulta essere di una quantità considerevole ne risulta una scarsa permeabilità e accentua l'azione del gelo.

- EQUIVALENTE IN SABBIA

La norma UNI EN 933-8 rappresenta il metodo di prova per determinare l'equivalente in sabbia della frazione granulometrica 0/2 mm negli aggregati fini o misti. Lo scopo è quello di determinare la presenza di argilla o limo, particelle fini e indesiderate.

In un cilindro graduato vengono inseriti sabbia e una soluzione di lavaggio, successivamente il cilindro viene agitato per disgregare l'argilla dalla sabbia, altra soluzione viene aggiunta per portare in sospensione i fini ed infine si calcolano le altezze delle sedimentazioni di sabbia e argilla per calcolare l'indice percentuale SE.

- INDICE DI APPIATTIMENTO

La determinazione dell'indice di appiattimento FI fa riferimento alla norma UNI EN 933-3. È una prova per misurare la geometria dei granuli, in particolare per misurare la forma e per vedere quanto essi siano appiattiti. Si usa per granuli di dimensioni comprese tra 4 mm e 100 mm. La prova si compone di due fasi di setacciatura. La prima setacciatura avviene con l'iniziale essiccazione del materiale in stufa e successiva

divisione in classi granulometriche, infine viene pesata la singola classe per determinarne la massa. La successiva setacciatura avviene utilizzando un setaccio a barre parallele in cui ogni classe granulometrica viene setacciata. La larghezza delle aperture tra le barre del setaccio ha dimensione specifica in relazione con la classe granulometrica in esame ed è pari alla metà della dimensione nominale inferiore. Lo scopo è determinare i granuli piatti che passano attraverso le fessure delle barre e il loro peso. L'indice di appiattimento è dato dal rapporto tra la massa totale dei granuli che passano le fessure dei setacci a barre e la massa totale secca del campione in esame.

- **INDICE DI FORMA**

La determinazione dell'indice di forma fa riferimento alla norma UNI EN 933-4. Viene misurato il rapporto tra lunghezza e spessore dei singoli grani per determinarne la forma geometrica. L'indice di forma è la percentuale in massa dei granuli che hanno rapporto lunghezza/spessore > 3 rispetto alla massa totale del campione esaminato.

- **PROVA LOS ANGELES**

Questa prova fa riferimento alla norma UNI EN 1097-2 e ha lo scopo di determinare la resistenza alla frammentazione degli aggregati grossi e degli aggregati per massicciata ferroviaria. La norma si applica agli aggregati naturali, riciclati e artificiali impiegati nell'ingegneria edile e civile. In questa prova un campione di 5 kg, prima essiccato, viene inserito in un cilindro rotante insieme a sfere d'acciaio. Il cilindro viene fatto ruotare ad una velocità costante provocando urti continui tra gli elementi all'interno. Al termine di questa fase il materiale viene fatto passare per un setaccio di dimensioni 1.68 mm per separare la frazione finita generata dalla frantumazione.

Il coefficiente Los Angeles è la percentuale in peso di frazione fina prodotta.

Per l'impiego in strati di fondazione soggetti a carichi pesanti è richiesto un coefficiente di Los Angeles minori del 35-40%.

- **PROVA CBR (California Bearing Ratio)**

Per la modalità di esecuzione di tale prova si fa riferimento alla norma UNI EN 13286-47 del 2004 e alla UNI 10009. Si tratta di una prova a gradiente di velocità di carico costante. Trova applicazione in tutti i tipi di materiali, dalle argille ai misti granulari ed è ampiamente diffusa nel caso di dimensionamento di sovrastrutture. La prova consente di determinare l'Indice di Portanza Californiano (CBR). Esso è il rapporto, espresso in percentuale, fra il carico necessario a far penetrare un pistone di dimensioni normate all'interno di un provino confinato in una fustella metallica ed un carico di riferimento. Se dalla prova eseguita su un campione con contenuto d'acqua originario risulta un CBR maggiore di 10 il materiale è certamente utilizzabile, se il CBR è inferiore a 5, il materiale non può essere utilizzato senza particolari provvedimenti.

- **PROVA PROCTOR**

Questa prova fa riferimento alla norma UNI EN 13286-2. Ha lo scopo di determinare la densità ottenibile per costipamento della frazione secca della terra e il corrispondente livello di umidità, detto di "umidità ottima", la quantità d'acqua ideale per raggiungere il massimo compattamento.

- **DURABILITÀ AL GELO/DISGELO**

La norma UNI EN 1367-1 definisce la prova per determinare la resistenza degli aggregati quando sono sottoposti a cicli ripetuti di gelo e disgelo. Vengono analizzati granuli di dimensioni comprese tra 4 mm e 63 mm, immersi nell'acqua e sottoposti a cicli termici che alternano il congelamento a circa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e lo scongelamento in acqua a circa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al termine dei cicli si misura la perdita di massa percentuale del campione. I risultati permettono di inserire l'aggregato in specifiche categorie di resistenza al gelo.

(Circolare MIT n. 5205/2005) (Barbero, 2024) (UNI EN 13242, 2013) (UNI EN 11531-1, 2014)

3.3.2 Il controllo della FPC, la Dichiarazione di Prestazione (DoP) e l'etichettatura CE

L'attestazione delle conformità prestazionali, geotecniche e chimico-ambientali dell'aggregato riciclato confluiscono nell'iter di qualifica disciplinato dal Regolamento (UE) n. 305/2011, il quale sancisce il passaggio definitivo del rifiuto a materia prima secondaria, impiegabile a livello commerciabile.

Sono presenti due strumenti legali per l'apposizione del marchio CE, il quale attesta formalmente la libera circolazione della MPS all'interno Spazio Economico Europeo.

Il primo strumento è l'FPC – Controllo della Produzione in Fabbrica. È un sistema di autocontrollo interno all'impianto attuo a garantire le prestazioni dichiarate nel tempo. Vengono garantite le procedure operative documentate, piani di campionamento sui lotti finiti, verifiche di laboratorio costanti e tarature periodiche sugli strumenti di frantumazione e vagliatura. Il processo fa riferimento alla norma UNI EN 13242.

Il secondo strumento è la DoP – Dichiarazione di Prestazione. Il produttore redige la DoP per ciascun lotto immesso nel mercato in seguito al superamento dei controlli previsti per l'FPC e il rispetto dei limiti fissati dal D.M. 127/2024. La DoP è l'atto giuridico formale con cui il fabbricante si responsabilizza legalmente per quanto riguarda il livello prestazionale dichiarato per tutte le caratteristiche fondamentali citate nei requisiti granulometrici.

Questi due strumenti danno il via libera per la marchiatura CE del materiale commercializzato, riportata sul documento di trasporto (DDT) e nelle schede tecniche di accompagnamento. Viene certificata l'equivalenza tecnico-normativa dell'inerte riciclato rispetto alle materie vergini prime di cava. (Regolamento UE n. 305/2011) (UNI EN 13242, 2013)

3.4 Ambiti di reimpiego degli aggregati riciclati e integrazione nei CAM

Il percorso di recupero disciplinato dal D.M.127/2024 e l'attestazione del marchio CE consentono la sostituzione dei materiali vergini di cava con l'uso dell'aggregato riciclato per gli impieghi in molteplici usi dell'ingegneria edile e civile. L'utilizzo di materie prime secondarie è promosso dalle politiche del Green Public Procurement e vi è l'obbligo, per le gare d'appalto pubbliche, dell'applicazione dei criteri ambientali minimi – CAM.

Il GPP (Green Public Procurement, ovvero acquisti pubblici verdi) è uno strumento di politica ambientale che intende favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale contribuendo, in modo determinante, al raggiungimento degli obiettivi delle principali strategie europee come quella sull'uso efficiente delle risorse o quella sull'Economia Circolare.

3.4.1 Destinazioni d'uso ammesse dal D.M. 127/2024 (Allegato 2)

L'allegato 2 del D.M. 127/2024 caratterizza gli impieghi e i settori destinati all'uso dell'aggregato riciclato. Ad ogni ambito sono associate le relative verifiche ambientali della matrice solida, rappresentate nella tabella 2 allegato 1 (tabella 3.1).

L'aggregato recuperato è utilizzato per:
a) realizzazione di recuperi ambientali, riempimenti e colmate; per queste lavorazioni è prescritto il rispetto dei limiti più restrittivi

b) realizzazione del corpo dei rilevati di opere in terra dell'ingegneria civile;

c) realizzazione di miscele bituminose e sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali e di piazzali civili ed industriali; assumono rilevanza i requisiti di portanza (CBR) e resistenza all'usura (Los Angeles)

d) realizzazione di strati di fondazione delle infrastrutture di trasporto e di piazzali civili ed industriali;

e) realizzazione di strati accessori aventi, a titolo esemplificativo, funzione anticapillare, antigelo, drenante; Impiego di aggregati selezionati e fresato d'asfalto (EER 17 03 02) per la produzione di conglomerati bituminosi

f) confezionamento di miscele legate con leganti idraulici (quali, a titolo esemplificativo, misti cementati, miscele betonabili);

g) confezionamento di calcestruzzi;

h) produzione di clinker per cemento;

i) produzione di cemento; per il confezionamento di calcestruzzi conformi alla norma UNI EN 12620. (D.M. 127/2024)

3.4.2 Criteri Ambientali Minimi – CAM e modalità di verifica

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto e il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita.

La loro applicazione consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili e produce un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi a adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione.

Oltre alla valorizzazione della qualità ambientale e al rispetto dei criteri sociali, l'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi risponde anche all'esigenza della Pubblica Amministrazione di diminuire i propri consumi, riducendone dove possibile le spese.

Stabiliscono quote percentuali minime d'impiego dell'aggregato riciclato nei cantieri della Pubblica Amministrazione.

- Opere in terra, rilevati e sottofondi: vige l'obbligo di utilizzo di almeno il 70% in peso di aggregati riciclati rispetto al totale della miscela impiegata
- Calcestruzzi prefabbricati: il calcestruzzo deve contenere una quota minima di aggregato riciclato di almeno il 5% in peso sul totale della miscela
- Miscele bituminose: in questo caso è incentivato l'uso di fresato d'asfalto negli strati di base e binder con percentuale variabile dal 20% al 40%

La conformità alle prescrizioni CAM deve essere attestata tramite documentazione tecnica.

- Dichiarazione ambientale del prodotto EPD: basata sull'analisi del ciclo di vita secondo la norma ISO 14025
- Certificazione di prodotto per il contenuto riciclato: rilasciata da organismi terzi accreditati in conformità alla norma UNI EN ISO 14021
- Tracciabilità di filiera: presentazione del bilancio di massa, dei formulari FIR digitali/RENTRI, della Dichiarazione di Conformità (DDC) del lotto e della Dichiarazione di Prestazione (DoP) con marcatura CE.

(D.M. 23 giugno 2022-CAM edilizia) (D.M. 5 agosto 2024-CAM Strade)

4 CASO STUDIO: IL PROCESSO DI VALORIZZAZIONE PRESSO L'IMPRESA MENEHINI GIOVANNI S.R.L.

4.1 Inquadramento aziendale e contesto territoriale

La Meneghini Giovanni s.r.l. è un'impresa che opera nel settore dell'edilizia e dei servizi ambientali attiva da oltre 50 anni a Verona e provincia. La sede legale si trova a Verona in Strada dei Monti 2/C mentre l'unità operativa e l'impianto di trattamento e recupero dei materiali inerti non pericolosi risiede a Villafranca di Verona in via Borgo Bello 108, nel settore della alta pianura veronese ai piedi delle colline moreniche del Garda.

In particolare, l'area d'intervento si trova a poche centinaia di metri verso a sud-est della pista dell'aeroporto di Villafranca di Verona, a circa 500 metri dall'abitato di Caluri, come rappresentato in figura 4.1.



Figura 4.1 – Inquadramento territoriale dell'impianto di Villafranca di Verona (Google Earth, 2023).

La proprietà è interamente recintata lungo tutto il perimetro e lungo le zone operative è stato realizzato un argine perimetrale di mascheramento, piantumato in sommità con un filare di specie autoctone sempreverdi.

4.1.1 Profilo operativo

La ditta Meneghini Giovanni s.r.l. si caratterizza per essere in grado di gestire l'intero ciclo di vita delle opere edili, dal cantiere iniziale alla chiusura del ciclo dei materiali. I servizi offerti sono:

- Scavi e movimento terra: esecuzione di sbancamenti, scavi per fondazioni, bonifiche e rimodellamento del terreno
- Demolizioni civili e industriali: interventi di scomposizione controllata e demolizione selettiva di edifici e strutture industriali, pianificati per la divisione preventiva delle frazioni merceologiche alla fonte
- Costruzioni edili e ristrutturazioni
- Opere di urbanizzazione: realizzazione di sottoservizi a rete come fognature, acquedotti, reti gas ed elettriche e viabilità pubbliche e private
- Servizio navette e noleggio cassoni: trasporto su strada dei materiali e delle terre da scavo tramite un parco automezzi pesanti iscritto all'Albo Nazionale Gestori Ambientali
- Trattamento, riciclo e valorizzazione dei materiali da costruzione e demolizione: presa in carico, stoccaggio e lavorazione dei rifiuti presso l'impianto di Villafranca di Verona per la produzione di materie prime secondarie marcate CE.

Le macerie generate dalle proprie attività di scavo e demolizione vengono trasportate mediante i propri mezzi presso l'impianto di recupero aziendale, dove vengono raffinate e successivamente reimpiegate come aggregati riciclati nei cantieri gestiti dall'impresa stessa o commercializzati sul mercato locale. (Meneghini Giovanni s.r.l., 2026)

4.1.2 Titoli autorizzativi e capacità d'impianto

L'impianto a Villafranca di Verona in via Borgo Bello opera in regime di Autorizzazione Unica per i Rifiuti ai sensi dell'art. 208 del D.lgs. 152/2006 rinnovata dalla Provincia di Verona – Settore Servizi in Campo Ambientale con validità fino al 31 gennaio 2033.

Ai sensi del comma 6 dell'articolo 208 del Testo Unico Ambientale il provvedimento sostituisce e integra l'autorizzazione alle emissioni in atmosfera per le polveri diffuse generate e l'autorizzazione allo scarico sul suolo delle acque meteoriche di dilavamento convogliate dalle superfici pavimentate e depurare da idoneo sistema di dissabbiatura e disoleazione.

Il quadro prescrittivo allegato alla Determina n. 2628/2024 definisce i vincoli quantitativi e volumetrici dell'impianto:

- Capacità massima di stoccaggio istantaneo, messa in riserva R13, fissata a 4.845 Mg corrispondenti ad un volume di $3.500\ m^3$
- Potenzialità annua di trattamento, operazione R5, pari a 23.000 Mg/anno corrispondenti ad un volume compreso tra $13.000\ m^3$ e $19.500\ m^3$
- Potenzialità massima giornaliera di recupero stabilita in 90 Mg/giorno, circa 64-75 m^3 /giorno.

(Provincia di Verona - Settore Ambiente, Determinazione Dirigenziale n. 2628/2024)

4.1.3 Flussi autorizzati all'ingresso

L'impianto è autorizzato al solo conferimento di rifiuti speciali non pericolosi derivanti dal settore delle costruzioni, demolizioni e attività strettamente connesse. In tabella 4.1 sono elencati i codici EER autorizzati all'ingresso in impianto e le correlate attività ammesse.

Tabella 4.1 – Flussi di rifiuti autorizzati in ingresso e relative operazioni ammesse (Provincia di Verona, 2024).

Codice EER	Descrizione del rifiuto	Operazioni di recupero	Riferimenti normativi per le attività di recupero
10.13.11	Rifiuti della produzione di materiali composti a base di cemento, diversi da quelli di cui alle voci 10.13.09 e 10.13.10	R13-R5	D.M. 152/2022
17.01.01	Cemento	R13-R5	D.M. 152/2022
17.01.02	Mattoni	R13-R5	D.M. 152/2022
17.01.03	Mattonelle e ceramica	R13-R5	D.M. 152/2022
17.01.07	Miscuglio o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17.01.06	R13-R5	D.M. 152/2022
17.03.02	Miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 17.03.01	R13-R5	D.M. 152/2022
17.05.04	Terre e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17.05.03	R13-R5	D.M. 152/2022
17.09.04	Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione diversi da quelli di cui alle voci 17.09.01, 17.09.02, 17.09.03	R13-R5	D.M. 152/2022
17.08.02	Materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17.08.01	R13 (solo messa in riserva)	D.M. 152/2022

Tutti i rifiuti minerali, cementizi, laterizi e bituminosi possono essere trattati mediante l'operazione R5 per essere trasformati in aggregati riciclati mentre per EER 17.08.02 come gesso e cartongesso, frazione a base di solfato di calcio, è consentita solo l'attività di messa in riserva R13. Non è consentito immetterla nella linea di frantumazione. In questa maniera viene

tutelato l'inerte da aumenti di solfati solubili rispettando i limiti di lisciviazione prescritti dal D.M. 127/2024. (Provincia di Verona, AUA n. 2628/2024)

4.2 Layout d'impianto

L'assetto operativo risponde al progetto planimetrico approvato dalla Provincia di Verona con Determinazione Dirigenziale n. 2628/2024. La figura 4.2 rappresenta la planimetria generale dell'impianto.

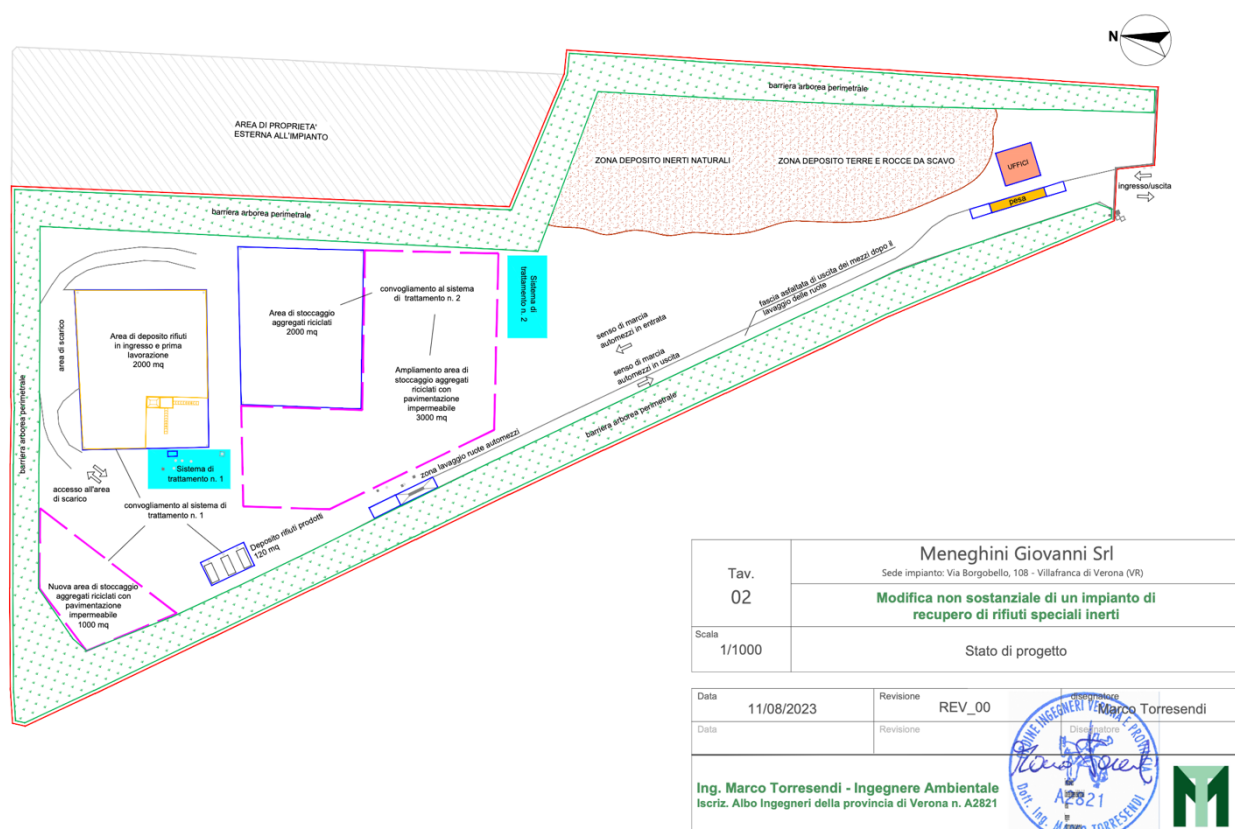


Figura 4.2 – Planimetria generale dell'impianto (Torresendi, 2023).

L'accesso all'impianto costituisce il primo controllo per la verifica di conformità dei carichi prima dello scarico.

Presso gli uffici (120 m²) posti all'ingresso, l'operatore esamina il formulario FIR verificando la corrispondenza al codice EER rispetto a quelli autorizzati (figura 4.2), le certificazioni per le voci a specchio e la regolarità di iscrizione all'Albo Nazionale Gestori Ambientali del vettore.

Successivamente l'autocarro transita sulla pesa a ponte per la misurazione della massa lorda e, in seguito, successivamente allo scarico, effettua la seconda pesata per trasmettere il quantitativo netto da trasmettere al RENTRI.

L'addetto esegue il controllo a vista sul cassone prima e durante lo scarico del materiale e, qualora dovessero emergere discrepanze, il carico viene dirottato nell'area di quarantena dotata di pavimentazione impermeabilizzata. Qui il lotto viene campionato ed analizzato ai sensi della norma UNI 10802.

4.2.1 Zonizzazione dell'impianto

L'accesso e l'uscita avvengono tramite lo stesso cancello. Gli autocarri transitano davanti gli uffici e la pesa, risalgono per le operazioni carico e scarico e infine, prime di uscire, passano attraverso la pedana lava ruote prima di reimmettersi in carreggiata.

Di seguito, in tabella 4.2, il bilancio e destinazioni delle superfici dell'impianto.

Tabella 4.2 – Bilancio e destinazione d'uso delle superfici dell'impianto (Torresendi, 2023).

Macro-area / destinazione funzionale	Superficie (m²)	Caratteristiche pavimentazione
Uffici e pesa	120	Struttura fissa al varco d'ingresso
Area deposito rifiuti in ingresso e prima lavorazione	2.000	Pavimentazione impermeabile in c.a.
Area stoccaggio aggregati riciclati (MPS)	6.000	Conglomerato bituminoso ad alta tenuta
Area di servizio e viabilità interna	6.000	Corsie di transito
Deposito container rifiuti prodotti	120	Piazzola impermeabile per scarti e metallo
Area a verde e barriera arborea perimetrale	1.000	Argine piantumato con specie sempreverdi
Deposito materiali naturali e terre da scavo	22.650	Fondo naturale stabilizzato (D.P.R. 120/2017)
Superficie Totale Insediamento	37.890	Intero perimetro recintato

L'area di deposito rifiuti e lavorazione primaria destinata alla messa in riserva dei rifiuti (R13) in cumuli distinti per codice EER e all'alimentazione della linea di frantumazione (R5) è una piazzola in calcestruzzo armato con dimensioni 40 x 50 m.

L'area di stoccaggio aggregati riciclati è composta da una superficie in conglomerato bituminoso chiuso. Qui i prodotti finiti vengono accumulati per lotti omogenei di volume pari o inferiore a 3.000 m³ identificata da cartellonistica con lotto e analisi di riferimento, in attesa dell'emissione della DoP e marcatura CE. (Studio Tecnico Ing. Marco Torresendi-Stato di Progetto, Agosto 2023)

4.2.2 Gestione acque e abbattimento polveri

Tutte le acque di dilavamento provenienti dalle superfici vengono trattate di continuo, senza distinzioni tra prima e seconda pioggia. Una volta trattate le acque saranno re-impiegate per l'abbattimento delle polveri ed eventualmente, se sovrabbondanti, smaltite in sub-irrigazione. Comunque, l'area è servita da un sistema complessivo di abbattimento polveri (ugelli in uscita, irrorazione dei cumuli, viabilità interna ecc..) come previsto dall'autorizzazione. Gli impianti di trattamento acque saranno dimensionati secondo le norme EN 858-I e II.

In particolare, il sistema di trattamento n. 1, è a disposizione delle seguenti superfici:

Area di deposito e lavorazione materiale (m ²)	2.000
Aree adibite a deposito container rifiuti prodotti (m ²)	120
Nuova area di deposito aggregati riciclati (m ²)	1.000
Totale (m²)	3.120

La portata dell'acqua piovana Q_1 può essere calcolata con la formula

$$Q_1 = \varphi u A_1$$

Dove:

- φ è il coefficiente di deflusso, valore compreso tra 0 e 1, usato per tenere conto della natura della superficie considerata: per le aree impermeabili esso vale 1;
- u è il coefficiente udometrico, che indica la portata massima specifica che il bacino convoglia nel canale di scolo;
- A_1 è l'area scolante nell'impianto n.1;

assumendo coefficiente di deflusso $\varphi = 1$ (aree impermeabili) e coefficiente udometrico $u = 120 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)} = 0.012 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2\text{)}$ si ha:

$$Q_1 = 1 \times 0.012 \times 3120 = 37.44 \text{ l/s}$$

Pertanto, è sufficiente un impianto con capacità nominale maggiore di 37,44 l/s.

Il sistema di trattamento n.2 è a servizio delle seguenti superfici:

Area di deposito aggregati riciclati esistenti (m ²)	2.000
Nuova area di deposito aggregati riciclati (m ²)	3.000
Zona di lavaggio ruote automezzi (m ²)	500
Totale (m²)	5.500

La portata dell'acqua piovana Q_2 può essere calcolata con la formula:

$$Q_2 = \varphi u A_2$$

assumendo coefficiente di deflusso $\varphi = 1$ (aree impermeabili) e coefficiente udometrico $u = 120 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)} = 0.012 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2\text{)}$ si ha:

$$Q_2 = 1 \times 0.012 \times 5.500 = 66 \text{ l/s}$$

Pertanto, è sufficiente un impianto con capacità nominale maggiore di 66 l/s.

Il trattamento delle acque di pioggia fa capo a un sistema monoblocco prefabbricato in calcestruzzo armato conforme alla norma UNI EN 858 (schema costruttivo figura 4.3)

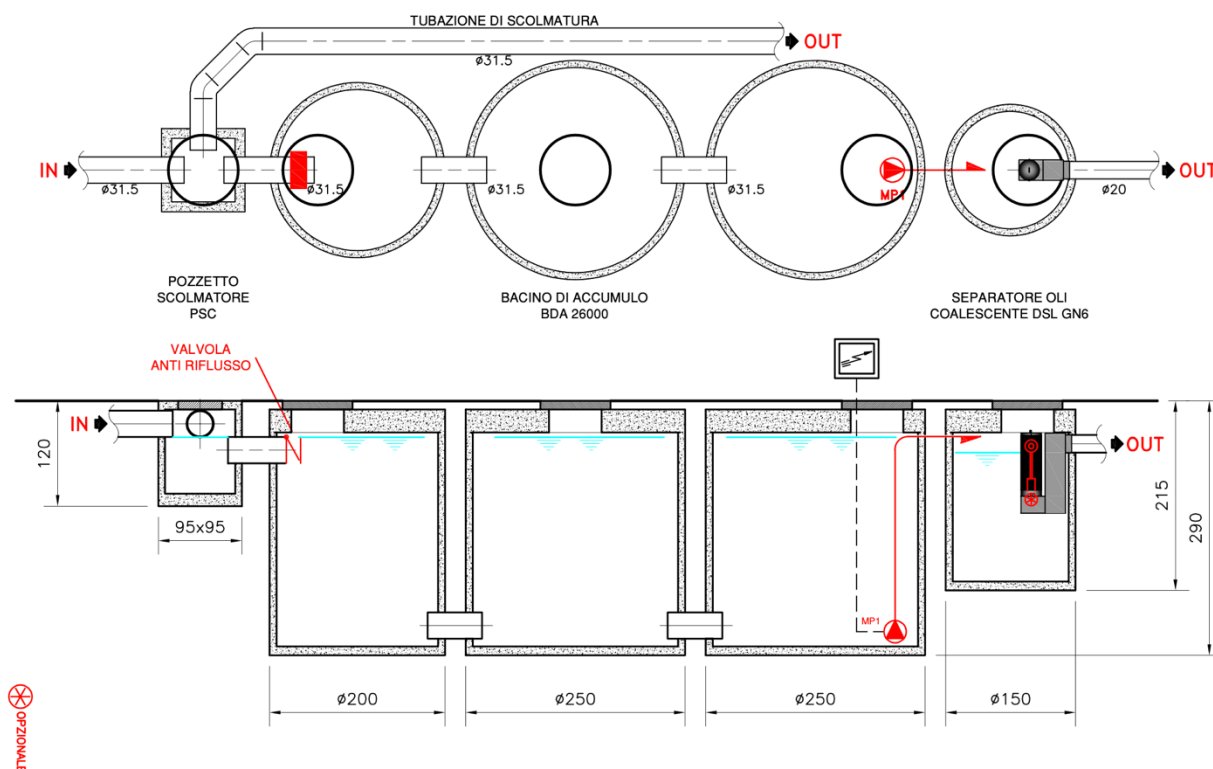


Figura 4.3 – Schema costruttivo dell'impianto di trattamento acque di prima pioggia (Depur Padana Acque S.r.l., 2022).

La linea di depurazione è articolata nei seguenti comparti idraulici:

- Pozzetto scolmatore PSC: riceve l'acqua dalle condotte in ingresso e invia i primi 5 mm di precipitazione verso l'accumulo tramite valvola anti-riflusso, una volta riempito il volume utile lo stramazzo interno devia le acque di seconda pioggia direttamente verso lo scarico finale (OUT) in modalità by-pass;
- Bacino di accumulo BDA 26000 e dissabbiature: composto da tre vasche comunicanti in serie interrate per una volumetria utile di 26 m³ pari a 26.000 litri. Le sabbie e i solidi sospesi sedimentano per gravità
- Separatori oli coalescente DSL GN6: una pompa trasporta l'acqua sedimentata al termine della pioggia verso il modulo di disoleazione. Vasca cilindrica provvista di filtro a coalescenza e otturatore automatico a galleggiante con portata nominale di 6 l/s. Le particelle oleose aggregate risalgono in superficie venendo trattenute prima dello scarico chiarificato garantendo la piena rispondenza ai limiti della Tabella 4 dell'Allegato 5 al D.Lgs. 152/2006.

Le acque chiarificate vengono riutilizzate per l'alimentazione degli ugelli nebulizzatori del frantoio, della rete fissa di irrorazione del piazzale e della rampa lava ruote automatica all'uscita.

(Depur Padana Acque S.r.l., Relazione tecnica e schema costruttivo impianto acque di prima pioggia , 2022) (Studio Tecnico Ing. M. Torresendi, 2023)

4.3 Trattamento e processo di recupero R5

La trasformazione dei rifiuti inerti in aggregati riciclati conformi ai requisiti End of Waste avviene all'interno dell'area di deposito rifiuti in ingresso e prima lavorazione con superficie di 2.000 m².

Vi è una cernita preliminare del materiale stoccato sulla pavimentazione tramite un escavatore provvisto di pinza o benna, in base alle necessità, vengono rimossi eventuali corpi estranei ingombranti. Inoltre, i blocchi di calcestruzzo armato di dimensioni superiori a quelle ammissibili nella bocca del frantoio vengono ridotti di volume tramite martellone pneumatico o pinza cesogiatrica montato sul braccio dell'escavatore, dividendo il cemento dall'armatura metallica.

4.3.1 Il gruppo mobile di frantumazione primaria: RIMAC MOBY 1060

Il trattamento avviene tramite l'unità cingolata semovente RIMAC MOBY 1060 (prodotta da Rimac Technology SA), un impianto a mascelle. Il funzionamento si basa sulle seguenti sezioni operative:

- Alimentazione e pre-vagliatura (Grizzly): Il materiale è alimentato alla tramoggia di carico anti-usura. Sotto di essa è presente una griglia scalpitrice (grizzly) che separa la frazione fine e terrosa (0/20 mm) dalla frazione grossolana, prima dell'accesso alla camera di frantumazione. Tale frazione viene deviata su un nastro laterale evitando l'intasamento del frantoio
- Camera di frantumazione a mascelle (1000 × 600 mm): Il materiale grossolano entra dentro alla camera di frantumazione, costituita da una mascella fissa e una mobile. La frantumazione avviene per pura sollecitazione a compressione, ideale per la rottura di calcestruzzo, murature miste, scarti laterizi e fresato d'asfalto. Il sistema idraulico consente la regolazione continua dell'apertura di scarico (CSS), calibrando le dimensioni volumetriche (tipicamente impostata a 0/40 mm o 0/70 mm) ed è provvisto di sistema di sicurezza automatico a sgancio rapido contro corpi intriturbabili.
- Deferrizzazione continua a nastro crociato (Overband): Sul nastro di scarico principale è installato un separatore magnetico permanente. Il campo magnetico attrae ed estrae in continuo le armature in ferro ed elementi in metallo scaricandoli all'interno dell'apposita baia per i rifiuti metallici.
- Mitigazione delle polveri: sono presenti rampe di ugelli spruzzatori posizionati nella tramoggia, sulla camera di frantumazione e sulla testata del nastro di scarico. Il circuito è alimentato dalle acque di ricircolo depurate dall'impianto di prima pioggia del sito, garantendo la non sovrasaturazione idrica del materiale.

(Rimac Technology S.A., Manuale d'uso e specifiche tecniche frantoio a mascelle MOBY 1060, 2021) (Meneghini Giovanni s.r.l., 2026)

4.3.2 Vagliatura e classificazione

Il materiale frantumato viene trasferito in una seconda sezione di vagliatura costituita da vagli a piani vibranti dotati di reti a maglia differenziata.

Avviene una separazione delle frazioni commerciali.

Sabbia riciclata (0/4 mm o 0/5 mm) usata per allettamenti, rinfianchi di tubazioni o malte non strutturali.

Stabilizzato riciclato / misto granulare (0/30 mm e 0/40 mm) prodotto per la realizzazione di rilevati, sottofondi stradali e piazzali.

Ghiaietto e tout-venant riciclato (4/16 mm, 16/32 mm) frazioni grossolane per stati drenanti e massicciate.

Gli elementi di dimensioni granulometriche superiori che non passano le maglie del vaglio finale vengono reimmessi nella camera di frantumazione per essere nuovamente ridotti.

A valle del processo di vagliatura, le singole frazioni vengono movimentate tramite pale gommate verso le baie di stoccaggio aggregati (6.000 m^2 complessivi), dove vengono accumulate per lotti omogenei distinti ($\leq 3.000\text{ m}^3$) pronte per le procedure di campionamento chimico-ambientale (D.M. 127/2024) e la qualifica prestazionale CE (UNI EN 13242).

(Meneghini Giovanni s.r.l., 2026)

4.4 Verifica della conformità End of Waste (D.M. 127/2024) su un lotto di aggregato riciclato 0/63

La cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste) è subordinata alla verifica chimico-ambientale ai sensi dell'Allegato 1 del D.M. 127/2024.

Ai fini dell'analisi viene esaminato il rapporto di prova eseguito da laboratorio Chemicambiente s.r.l. accreditato ACCREDIA, ossia l'Ente Unico Nazionale di Accreditamento designato dal governo italiano attesta che il laboratorio di prova possiede la competenza tecnica e l'adeguatezza gestionale per eseguire specifiche attività di valutazione della conformità. Caratterizzazione analitica eseguita su un lotto omogeneo di aggregato riciclato 0/63 mm prodotto dall'impresa Meneghini Giovanni s.r.l. nell'impianto di Villafranca di Verona.

4.4.1 Analisi dei contaminanti nella matrice solida

In conformità alla tabella 2 dell'allegato 1 del D.M. 127/2024 il materiale è stato analizzato per determinare le concentrazioni di microinquinanti organici e inorganici presenti nella matrice solida. I risultati sono stati confrontati con i valori limite per le opere di ingegneria civile e strutturale, ossia della seconda colonna della tabella 2, destinazioni d'uso dalla lettera b) a g) dell'allegato 2 del D.M. 127/2024 /tabella 4.3)

Tabella 4.3 – Concentrazioni analitiche nella matrice solida dell'aggregato riciclato 0/63 (Chemicambiente S.r.l., 2025).

Parametro	Unità di misura	Valore riscontrato	Incertezza	Valore limite	Esito di conformità
Residuo a secco 105 °C	%	93.4	-		Conforme
Amianto	mg/kg s.s.	NQ	-	100	Conforme
Benzene	mg/kg s.s.	NQ	-	2	Conforme
C>12	mg/kg s.s.	220	±40	750	Conforme
Benzo(a)pirene	mg/kg s.s.	0.010	-	10	Conforme
Benzo(a)antracene	mg/kg s.s.	0.028	-	10	Conforme
Benzo(b)fluorantene	mg/kg s.s.	0.016	-	10	Conforme
Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg s.s.	0.027	-	10	Conforme
Crisene	mg/kg s.s.	0.025	-	50	Conforme
Pirene	mg/kg s.s.	0.043	-	50	Conforme
Sommatoria IPA	mg/kg s.s.	0.15	-	100	Conforme
Sommatoria PCB	mg/kg s.s.	NQ	-	5	Conforme
Cromo esavalente (Cr VI)	mg/kg s.s.	NQ	-	15	Conforme

NQ = non quantificabile

Dall'esame si evidenzia l'assenza completa di amianto. Gli idrocarburi pesanti C>12 hanno un valore di concentrazione pari a 220 mg/kg inferiore a 750 mg/kg, valore limite, previsto per rilevati e fondazioni stradali. La frazione di idrocarburi policiclici aromatici totali IPA risulta 0.15 mg/kg inferiore al valore limite di 100 mg/kg. In generale, tutti i parametri sono conformi ai limiti del D.M. 127/2024.

(Chemicambiente S.r.l., Rapporto di Prova Analitico Matrice Solida n. 25-0144/M, 2025) (D.M. 127/2024)

4.4.2 Test di cessione

Per simulare il comportamento dell'aggregato sottoposto alle precipitazioni meteoriche è stato fatto e qui analizzato il test di cessione a singola estrazione batch in accordo alla norma UNI EN 12457-2:2004, ossia L/S 10 l/kg su frazione <4 mm con agitazione continua per 24 ore. L'eluato filtrato a 0.45 µm è stato sottoposto a quantificazione chimico-fisica e spettrometrica (ICP-MS).

In tabella 4.4 sono riportati i risultati del test di cessione sull'aggregato 0/63.

Tabella 4.4 – Risultati del test di cessione UNI EN 12457-2 sull'aggregato riciclato 0/63 (Chimicambiente S.r.l., 2025).

Parametro	Unità di misura	Valore riscontrato	Incertezza	Valore limite	Esito di conformità
pH	Unità pH	10.7	±0.3	5.5-12	Conforme
Conducibilità elettrica	µS/cm	499	±15	-	Valutato
COD	mg/l	NQ	-	30	Conforme
Cloruri (Cl ⁻)	mg/l	11	±3	750	Conforme
Fluoruri (F ⁻)	mg/l	0.30	±0.09	1.5	Conforme
Nitrati (NO ₃ ⁻)	mg/l	1.5	±0.4	50	Conforme
Solfati (SO ₄ ²⁻)	mg/l	119	±36	750	Conforme
Cianuri	µg/l	NQ	-	50	Conforme
Arsenico (As)	µg/l	0.8	±0.3	50	Conforme
Bario (Ba)	µg/l	23	±5	1000	Conforme
Berillio (Be)	µg/l	NQ	-	10	Conforme
Cadmio (Cd)	µg/l	NQ	-	5	Conforme
Cobalto (Co)	µg/l	NQ	-	250	Conforme
Cromo totale (Cr)	µg/l	15	±8	50	Conforme
Mercurio (Hg)	µg/l	NQ	-	1	Conforme
Nichel (Ni)	µg/l	NQ	-	10	Conforme
Piombo (Pb)	µg/l	NQ	-	50	Conforme
Rame (Cu)	µg/l	NQ	-	50	Conforme
Selenio (Se)	µg/l	NQ	-	10	Conforme
Vanadio (Va)	µg/l	30	±8	250	Conforme
Zinco (Zn)	µg/l	NQ	-	3000	Conforme

I risultati del test di cessione confermano la compatibilità dell'aggregato recuperato rispetto al D.M. 127/2024. Questo ambiente alcalino favorisce l'insolubilizzazione e la precipitazione di gran parte dei metalli pesanti disciolti. Il contenuto di solfati risulta essere nettamente inferiore al valore limite, ciò è dovuto al divieto di trattamento di materiali a base di gesso impendendo l'accumulo di solfato di calcio nel prodotto finale. Le concentrazioni di metalli pesanti e cromo totale sono sotto al valore limite.

Il superamento di tutti i controlli chimici e di lisciviazione attestano la cessazione della qualifica di rifiuto consentendo al lotto di acquisire lo status di Materia Prima Secondaria MPS pronta per la marcatura CE e la distribuzione commerciale.

(Chimicambiente S.r.l., Rapporto di Prova Test di Cessione UNI EN 12457-2 n. 25-0145/E, 2025) (D.M. 127/2024)

4.5 Analisi prestazionale e marcatura CE

Una volta conseguita la cessazione della qualifica di rifiuto (End of Waste) ai sensi del D.M. 127/2024 del lotto di aggregato riciclato 0/63 mm avviene il controllo prestazionale attestato dal laboratorio autorizzato Geo Consulting s.r.l. consentendo l'emissione della dichiarazione di prestazione DoP e l'apposizione della marcatura CE in accordo con la norma armonizzata UNI EN 13242:2008 e la norma applicativa nazionale UNI EN 11531-1:2024.

4.5.1 Prove di laboratorio

La qualifica prestazionale del lotto di aggregato riciclato 0/63 è avvenuta tramite una serie di prove geotecniche e meccaniche presso laboratorio.

- Analisi granulometrica per setacciatura: la prova è stata eseguita su una massa totale essiccata di 41.962,0 g.

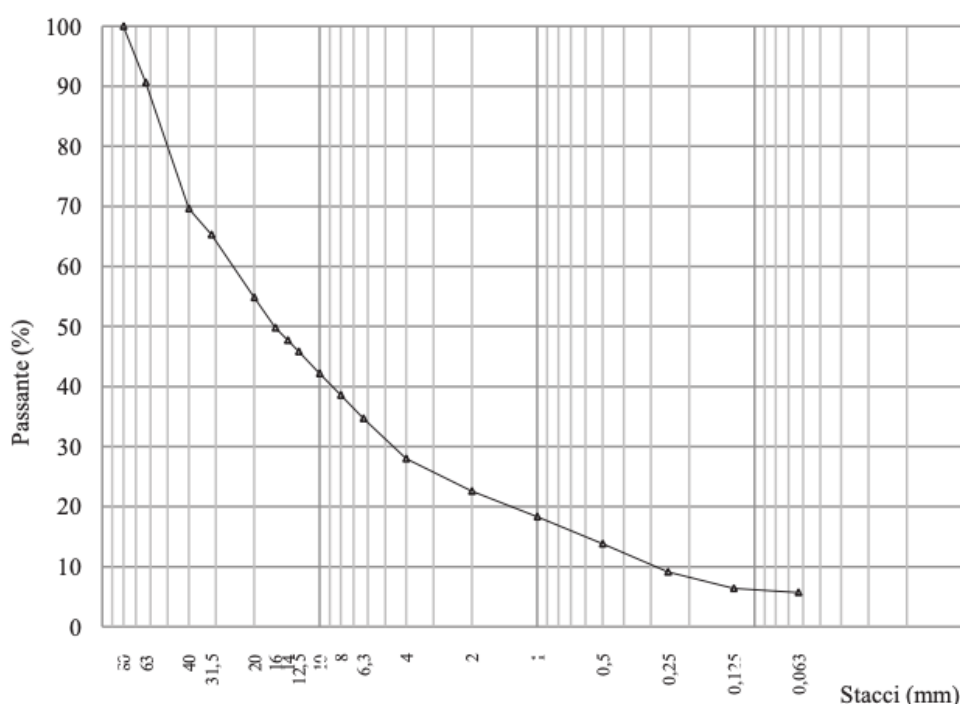


Figura 4.4 – Curva granulometrica per setacciatura dell'aggregato riciclato 0/63 (Geo Consulting S.r.l., 2025)

In base ai fusi normativi della UNI EN 13242, il materiale viene designato come Aggregato in frazione unica 0/63, classificato nella categoria di sopravaglio G_A85 e nella categoria del contenuto di fini f₇. In figura 4.4 è rappresentata la curva granulometrica della prova in laboratorio.

- Valutazione dei fini - prova dell'equivalente in sabbia (UNI EN 933-8:2015): è stata fatta sulla frazione 0/2 mm avente un contenuto di fini del 19,6 % e umidità w=1.3%. I due campioni di prova hanno dato rispettivo risultato (h₁/h₂) x 100 pari a 34.3% e 34.8% determinando un valore medio dell'equivalente in sabbia SE (10)= 34.6%. il valore rispetta la soglia minima SE>20% confermando l'assenza di fini plastiche
- Valutazione dei fini – prova del blu di metilene (UNI EN 933-9:2022): prova condotta su una massa essiccata di 204,1 della frazione 0/2 mm. la prova ha richiesto un volume totale di soluzione colorante pari a 55 ml prima di raggiungere la saturazione dei siti di

assorbimento. Il valore di blu di metilene è pari a $MB = 2,7 \text{ g/kg}$, sotto al limite soglia di 5 g/kg , certificata l'assenza di minerali argillosi dannosi

- Forma dei granuli – indice di appiattamento (UNI EN 933-3:2012): la prova ha restituito un valore di $FI = 18,4\%$ rientrando nella categoria FI_{50} ($FI < 50\%$)
- Forma dei granuli - indice di forma: la prova ha restituito un valore di $SI = 20,4\%$
- Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi (UNI EN 933-5:2023): prova condotta sulle classi granulometriche comprese tra 4 mm e 63 mm , ha riscontrato una percentuale di particelle frantumate $C_c = 91\%$. Il materiale si qualifica nella categoria $C_{91/7}$.
- Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua (UNI EN 1097-6:2022): è stata quantificata una massa volumica apparente dei granuli $\rho_a = 2,57 \text{ Mg/m}^3$, una massa volumica pre-essicata $\rho_{rd} = 2,26 \text{ Mg/m}^3$ e una massa volumica in condizioni di saturazione a superficie asciutta $\rho_{ssd} = 2,38 \text{ Mg/m}^3$. L'assorbimento d'acqua a 24 ore si è attestato al $5,3 \%$.
- Resistenza alla frammentazione – prova Los Angeles (UNI EN 1097-2:2020): la classe granulometrica sottoposta alla prova è $10\text{-}14 \text{ mm}$ su un campione di 5.000 g . la massa trattenuta al setaccio $1,6 \text{ mm}$ è pari a $3.278,8 \text{ g}$ determinando un coefficiente di Los Angeles pari a $34,4 \%$ rispettando il limite per impieghi stradali $LA < 50\%$.
- Resistenza all'usura – prova Micro-Deval a umido (UNI EN 1097-1:2024): prova eseguita su un doppio campione su frazione $10\text{-}14 \text{ mm}$ di 500 g ciascuno. La prova ha fornito un coefficiente $M_{DE} = 25,7 \%$
- Resistenza ai cicli gelo e disgelo (UNI EN 1367-1:2007): la prova è stata condotta su tre aliquote dalle frazioni $16\text{-}32 \text{ mm}$ per una massa totale di 12.008 g . la massa trattenuta allo staccio è pari a $11.873,9 \text{ g}$ determinando una perdita percentuale di massa pari all' $1,1\%$
- Determinazione di solfati idrosolubili (UNI EN 1744-1:2013): è stata determinata un contenuto di solfati idrosolubili pari allo $0,22\%$.
- Determinazione del contenuto totale di zolfo (UNI EN 1744-1:2013): pari a $0,3 \%$.
- Determinazione dei solfati solubili in acido (UNI EN 1744-1:2013): pari a $0,27\%$.
- Prova Proctor modificata (UNI EN 13286-2 e UNI EN 13286-50): è stata determinata una massa volumica secca minima pari a $2,042 \text{ Mg/m}^3$ e un contenuto di umidità ottimale pari al $6,2 \%$ (figura 4.5).

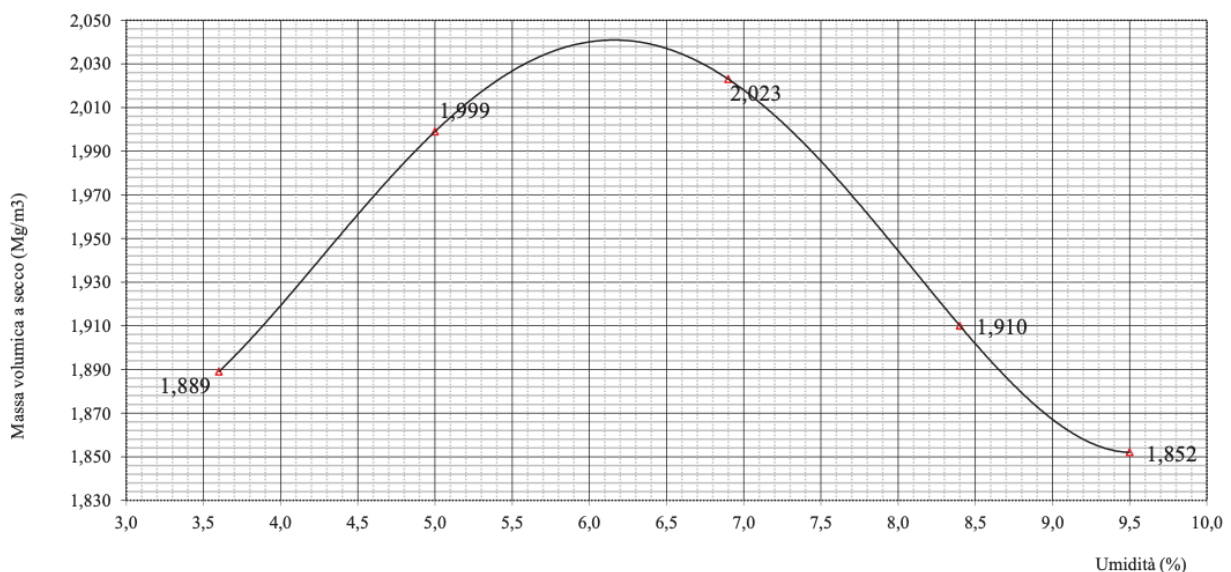


Figura 4.5 – Curva di costipamento all'energia Proctor Modificata (Geo Consulting S.r.l., 2025).

I parametri ricavati dalle singole prove attestano la conformità dell'aggregato riciclato 0/63 mm alle specifiche prestazionali della norma UNI EN 11531-1 per la realizzazione di corpi di rilevato e sottofondi.

La prova a resistenza meccanica e durabilità ($LA=34,4\%$) assicura che i granuli non subiscano polverizzazioni sotto carichi come rulli o traffico stradale. La prova Micro-Deval e la bassa perdita di massa ai cicli gelo/disgelo attestano l'elevata resistenza all'usura abrasiva e agli agenti atmosferici. È esclusa la presenza di frazioni argillose o minerali espansivi garantendo costanza volumetrica in presenza d'acqua. (Geo Consulting S.r.l., Certificato Ufficiale di Prove Geotecniche e Meccaniche su Aggregato 0/63 n. 25/GEO/089, 2025)

4.5.2 Analisi costitutiva dei componenti riciclati (UNI EN 933-11)

Secondo la norma UNI EN 933-11 è stata determinata la ripartizione percentuale delle componenti:

- Calcestruzzo e malte $R_c = 54,3 \%$
- Elementi litoidi naturali e legati $R_u = 23,3 \%$
- Sommatoria litica primaria ($R_{cug} = R_c + R_u + R_g$) = $77,7 \%$
- Laterizi e murature in argilla $R_b = 21,4 \%$
- Conglomerato bituminoso $R_a = 0,9 \%$
- Vetro $R_g = 0,1\%$
- Materiali organici flottanti $FL = 0.0 \text{ cm}^3/\text{kg}$
- Impurità estranee non litoidi $X = 0,0 \%$

(Geo Consulting S.r.l., Certificato di prova UNI EN 933-11 n. 25/GEO/090, 2025)

4.5.3 Controllo della produzione in fabbrica FPC, DoP e criteri ambientali minimi CAM

Per la commercializzazione del prodotto finito si applica il sistema di attestazione della conformità Sistema 4 (ai sensi del CPR 305/2011/UE) attraverso il piano di controllo della produzione in fabbrica (FPC).

In seguito al collaudo del lotto omogeneo l'azienda rilascia la DoP n. AS RIC0/63 2014-0 che attesta la conformità dell'inerte alle specifiche della Circolare Ministeriale n. 5205/2005 e della norma UNI EN 13242.

Ciascun carico in uscita è accompagnato dal documento di trasporto DDT con l'etichetta CE e i riferimenti DoP, la norma armonizzata di conformità, il codice prodotto (AS RIC0/63) e le destinazioni d'uso ammesse.

(Meneghini Giovanni S.r.l., Dichiarazione di Prestazione DoP n. AS RIC0/63 2014-0)

(Regolamento UE 305/2011)

5 CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha analizzato l'intera filiera di gestione e trattamento dei rifiuti generati nel settore delle costruzioni e demolizioni (C&D). È stato illustrato il percorso normativo, logistico, tecnologico e prestazionale che permette la transizione dal modello lineare tradizionale ad un modello circolare per l'ingegneria civile e ambientale.

Il settore delle costruzioni genera oltre il 50% dei rifiuti speciali nazionali, di cui il 98% è costituito da frazioni minerale e non pericolosi. L'ambiente costruito costituisce una vera e propria miniera il cui recupero sistematico riduce le pressioni estrattive sulle cave vergini e l'emissione dei gas serra dovuti ai trasporti viene ridotto lo smaltimento finale.

Dall'elaborato emergono le seguenti considerazioni:

- Il recepimento della Direttiva Quadro sui Rifiuti 2008/98/CE all'interno del D.lgs. 152/2006 ha trovato beneficio con l'entrata in vigore del D.M. 127/2024. I vincoli restrittivi superati dal D.M. 152/2022, attraverso la rimodulazione delle soglie del test di lisciviazione e l'ampliamento dei codici EER ammessi, oltre ad altre modifiche, ha permesso un quadro applicabile su scala industriale favorendo l'immissione delle MPS su mercato;
- Il passaggio alla tracciabilità digitale tramite il sistema RENTRI e l'adozione del FIR digitale rafforzano la trasparenza e la legalità contro le pratiche illecite di smaltimento;
- L'applicazione della demolizione selettiva alla fonte si conferma uno strumento estremamente efficace per intercettare i contaminanti storici come amianto, catrami e gessi;
- L'obbligo dei criteri ambientali minimi (CAM) sancisce il passaggio dell'aggregato da semplice materiale di ripiego a standard qualitativo prescritto nei capitolati d'appalto

Il caso studio condotto sull'impresa Meneghini Giovanni s.r.l., in particolare sull'impianto di trattamento, ha dimostrato come il legame tra una pianificazione rigorosa in cantiere e un layout impiantistico conforme alle prescrizioni ambientali permetta la trasformazione dei materiali inerti in aggregato riciclato riutilizzabile e conforme sotto l'aspetto chimico-ambientale e prestazionale. Le analisi condotte sul lotto di aggregato riciclato 0/63 mm hanno confermato l'assenza di amianto e concentrazioni di idrocarburi pesanti (220 mg/kg) e rilasci di solfati (119 mg/L) entro le soglie del D.M. 127/2024, anche le prove geotecniche (resistenza Los Angeles pari a 34,4% e densità Proctor di $2,042 \text{ Mg/m}^3$) hanno dato esito positivo, hanno confermato che il materiale ha un comportamento meccanico equivalente a quello dei materiali naturali di cava.

In conclusione, è stato attestato che l'aggregato riciclato è una risorsa sicura, tecnicamente performante e indispensabile per la transizione ecologica e la tutela del territorio.

6 BIBLIOGRAFIA

- Barbero, M. (2024). Caratterizzazione geotecnica dei materiali granulari e gestione delle terre e rocce da scavo. Studio Tecnico Geologo Barbero. Tratto da <https://geologobarbero.it/>
- Butera, S., Christensen, T. H., & Astrup, T. F. (2014). Composition and leaching of construction and demolition waste: inorganic elements and organic compounds.
- Chimicambiente S.r.l. (2025). Rapporti di prova analitica su matrice solida ed eluato di lisciviazione per aggregato riciclato 0/63 (Commessa Meneghini Giovanni S.r.l.).
- Circolare Ministeriale 21 gennaio 2019,. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2005, n. 5205/2005. Istruzioni per l'impiego degli aggregati riciclati.
- Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120. Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. TESTO UNICO AMBIENTALE
- Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998. Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero.
- Decreto Ministeriale 23 giugno 2022. Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per nuove costruzioni, ristrutturazioni e manutenzioni di edifici pubblici (CAM Edilizia).
- Decreto Ministeriale 27 settembre 2022, n. 152. Regolamento che disciplina la cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione e di altri rifiuti inerti di origine minerale.
- Decreto Ministeriale 4 aprile 2023, n. 59. Regolamento recante disciplina del sistema di tracciabilità dei rifiuti e del registro elettronico nazionale per la tracciabilità dei rifiuti (RENTRI).
- Decreto Ministeriale 10 luglio 2024, n. 127. Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione e di altri rifiuti inerti di origine minerale, di modifica del D.M. 152/2022.
- Decreto Ministeriale 5 agosto 2024. Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade).
- Depur Padana Acque S.r.l. (2022). Relazione tecnica e schema funzionale dell'impianto di prima pioggia
- Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo
- European Commission. (2018).
- Geo Consulting S.r.l. (2025). Certificato di prova geotecnica e qualifica prestazionale CE
- ISPRA. (2026). Rapporto Rifiuti Speciali – Edizione 2026.
- Lavagnolo, M. C. (2026). Ingegneria sanitaria ambientale. Dispense del corso, Università degli Studi di Padova.
- Luciano, A., Cutaia, L., Altamura, P., & Peñalvo, E. (2022). Critical issues hindering a widespread construction and demolition waste (CDW) recycling practice in EU

- countries and actions to undertake: The stakeholder's perspective. Sustainable Chemistry and Pharmacy.
- Meneghini Giovanni S.r.l. (2024). Dichiarazione di Prestazione (DoP) n. AS RIC0/63 2014-0 e piano di Controllo della Produzione in Fabbrica (FPC).
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2024). Tratto da <https://www.mase.gov.it/portale/green-public-procurement-gpp>
- Oltre Il Green. (2024). End of waste dei rifiuti inerti: è partita la fase di adeguamento ai nuovi criteri. Tratto da <https://oltreilgreen.it/end-of-waste-dei-rifiuti-inerti-e-partita-la-fase-di-adequamento-ai-nuovi-criteri/>
- Provincia di Verona. (2024). Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) e iscrizione al registro delle imprese per l'attività di recupero rifiuti non pericolosi (R13, R5) – Impianto di Caluri di Villafranca di Verona (Determinazione Dirigenziale n. 2628/2024).
- Raskovic, M., Ragossnig, A. M., Kondracki, K., & Ragossnig-Angst, M. (2020). Clean construction and demolition waste material cycles through optimised pre-demolition waste audit documentation: A review on building material assessment tools. Waste Management & Research.
- Regolamento (UE) n. 305/2011.
- Rimac Technology S.A. (2021). Manuale d'uso e manutenzione Rimac Moby 1060
- SNPA. (2020). Linee guida sulla classificazione dei rifiuti.
- Sorlini, S., Piccinali, A., & Abbà, A. (2026). Characteristics of recycled aggregates from construction and demolition waste according to the Italian EoW regulation. Detritus: Multidisciplinary Journal for Circular Economy and Sustainable Management of Residues.
- Studio Tecnico Ing. Torresendi. (2023). Relazione tecnica descrittiva e planimetria generale stato di fatto e di progetto dell'impianto di recupero inerti Meneghini Giovanni S.r.l.
- UNI 10802:2013. Rifiuti - Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluiti.
- UNI EN 933-11:2009. Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati.
- UNI EN 11531-1:2014. Materiali per sovrastrutture stradali - Miscele non legate.
- UNI EN 12457-2:2004. Caratterizzazione dei rifiuti – Lisciviazione.
- UNI EN 13242:2013. Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade.
- UNI EN 14899:2006. Caratterizzazione dei rifiuti - Campionamento dei rifiuti - Quadro di riferimento per la preparazione e l'applicazione di un piano di campionamento.
- Youcai, Z., Huang, S., Yanqiu, S., & Gao, X. (2016). Sampling Techniques and Equipment for Construction and Demolition Waste.