

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

*DIPARTIMENTO di INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE e
dei MATERIALI (DICAM)*

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

TESI DI LAUREA in
VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE PRIMARIE E SECONDARIE M

**DEFINIZIONE DI APPROCCI E METODOLOGIE PER UNA
GESTIONE CIRCOLARE DELLE RISORSE IN AREE PORTUALI.**

CANDIDATO:
Giorgia Aloisi

RELATORE:
Chiar.ma Prof.ssa Alessandra Bonoli

CORRELATORI:

Dott. Ing. Cristian Chiavetta (ENEA)
Dott.ssa Patrizia Buttol (ENEA)

Anno Accademico 2018/2019

Sessione III

Sommario

Introduzione.....	5
1. Circular Economy e settore edilizio.....	8
1.1 Il modello economico lineare.....	8
1.2 Il concetto di Circular Economy.....	11
1.3 Il settore edile ed i principali impatti.....	12
1.4 Produzione e recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D).....	17
1.5 La transizione dell'industria verso un sistema economico circolare nell'industria.....	25
1.6 La gestione dei rifiuti da C&D.....	37
1.7 Caso studio Trieste.....	51
2. Il Life Cycle Assessment (LCA).....	62
2.1 Concetto e storia.....	62
2.2 La metodologia.....	65
2.3 Il software GaBi®.....	73
2.4 LCA a supporto della Circular Economy e nel settore delle costruzioni e demolizioni.....	73
2.5 Strategie e quantificazione della riduzione degli impatti ambientali nel settore delle costruzioni.....	75
3. LCA applicata alla valorizzazione dei rifiuti da C&D.....	78
3.1 Scopi e obiettivi del caso studio.....	78
3.2 L'unità funzionale – UF.....	80
3.3 System boundary – Definizione dei confini del sistema.....	81
3.4 I Dati.....	82
3.5 Assunzioni del caso studio.....	83
3.6 Metodo di valutazione degli impatti ambientali.....	84
3.7 Analisi dell'inventario (LCI).....	86
3.8 Fattore di sostituzione.....	96
3.9 Raccolta dati dell'inventario.....	99
3.10 Scenari alternativi confrontati.....	100

4. Risultati dell’LCA - Valutazione degli impatti.....	103
4.1 Risultati scenario di base.....	104
4.2 Valutazione degli impatti prodotti dagli scenari alternativi.....	108
4.3 Analisi dei costi.....	123
4.4 Analisi della produzione di barriere antierosione.....	127
Conclusioni.....	148
Bibliografia.....	152

Introduzione

Il settore delle costruzioni dell'Unione Europea è responsabile annualmente del 40% dei consumi energetici e del 35% delle emissioni di gas serra, mentre per reperire i materiali da costruzione vengono utilizzate il 50% delle materie prime estratte dalla crosta terrestre ogni anno. All'evidente problema ambientale legato al consumo delle materie prime si aggiunge il grave impatto in termini di produzione di rifiuti nelle attività di costruzione, manutenzione e demolizione.

È necessario, quindi, un sistema economico che consideri il rifiuto una risorsa che, valorizzata, possa rientrare a far parte del sistema economico, evitando in questo modo l'esaurimento delle risorse naturali non rinnovabili, il consumo del suolo e gli altri effetti derivanti dal modello economico lineare. Infatti, edificare genera impatti sull'ambiente durante tutte le diverse fasi del ciclo di vita, dall'approvvigionamento delle materie prime alla produzione e il trasporto, fino alla dismissione dell'edificio e lo smaltimento delle macerie da demolizione in discarica. Una possibile strategia per la riduzione degli impatti ambientali e socio-economici suddetti è quello di data dalla transizione del settore delle costruzioni da un modello di produzione e consumo lineare ad un modello circolare di gestione delle risorse.

In Italia esistono diversi esempi virtuosi di applicazione dell'economia circolare al settore delle costruzioni, manca tuttavia un approccio di sistema e dunque gran parte delle risorse utilizzate sono materie prime vergini e la maggior parte dei rifiuti da costruzione prodotti non rientra nel mercato come materia prima seconda. Infatti, non tutti i rifiuti inerti da C&D indicati come soggetti a recupero, vengono effettivamente riciclati come aggregati nel settore dell'edilizia. Dunque, solo una percentuale limitata dei rifiuti inerti recuperati rientra nel mercato come materia seconda rappresentando un'applicazione concreta dei principi dell'Economia Circolare.

Nel nostro Paese, inoltre, sono presenti molte aree edificate che non vengono più utilizzate per le attività per le quali sono state pensate e realizzate, e che dunque possono considerarsi come uno stock di materiale che potrebbe essere recuperato. Il tema delle aree dismesse assume una specifica valenza nelle città di mare dove il porto è elemento centrale dell'evoluzione urbana e, allo stesso tempo, luogo espressione dei settori di produzione trainanti nei diversi periodi della storia stessa del porto. Ampie zone adibite a magazzini sono state progressivamente abbandonate, a causa della delocalizzazione, in tutto o in parte, delle funzioni portuali e della transizione verso differenti modelli logistici.

Oggi, la presenza di aree dismesse rappresenta un'opportunità per la localizzazione di progetti di riqualificazione, favoriti anche dalla buona accessibilità ai nodi della rete infrastrutturale e dalla posizione centrale delle aree portuali in molte città italiane. Inoltre, la presenza di numerosi edifici dismessi, per i quali i progetti di riqualificazione prevedono, nella maggioranza dei casi, la demolizione parziale o completa permette di considerare tali aree come dei laboratori per l'applicazione dei principi dell'economia circolare al settore delle costruzioni. Lo sfruttamento di un'ingente risorsa di spazi e di materiali riutilizzabili consente, infatti, di limitare gli impatti ambientali generati dal settore delle costruzioni e ridurre il consumo di risorse e la produzione di rifiuti.

In questo contesto, l'attenzione per questo lavoro di tesi si è rivolta al Porto Vecchio di Trieste che si sviluppa in un susseguirsi di grandi volumi edilizi, originariamente adibiti a magazzino o deposito per le merci in transito in regime di Punto Franco, la cui maggioranza risale alla fine del XIX Secolo. Nel corso degli anni le attività principali del Porto di Trieste hanno subito un decentramento nella zona Est della città, così che il Porto Vecchio risulta oggi svuotato dalle funzioni originarie e parzialmente abbandonato.

Nell'ottica di definire un approccio per una gestione circolare delle risorse che si trovano nell'area portuale, l'attenzione nel caso studio è stata focalizzata su uno degli edifici presenti nell'area del Porto Vecchio di Trieste, al fine di quantificare lo stock di materiale da costruzione incorporato (non considerando la componente metallica) che diverrà deposito (*urban mining*) di risorse antropogeniche per materie prime secondarie. Come sarà descritto nei capitoli successivi, lo studio ha seguito un approccio di ciclo di vita atto a valutare gli impatti ambientali prodotti durante il trattamento e la valorizzazione dei materiali inerti prodotti dalla demolizione. Coerentemente con tale approccio sono stati definiti quelli che sono gli obiettivi, il campo di applicazione del caso studio e successivamente, sono stati raccolti i dati riferiti ai consumi degli impianti di trattamento, ai trasporti e alla produzione dei moduli antierosione in calcestruzzo riciclato

Per giungere allo scenario rappresentativo del nostro caso studio sulla gestione dei rifiuti prodotti dalla demolizione dell'edificio, sono stati confrontati diversi scenari in termini di impatti ambientali, di consumo di risorse energetiche e di consumo di risorsa naturale non rinnovabile (sabbia e ghiaia), in modo da poter individuare le azioni migliori per ridurre i carichi ambientali.

Alla valutazione ambientale è stata affiancata un'analisi dei costi dei materiali naturali e riciclati utilizzati come sottofondo stradale, le tariffe per il trasporto degli inerti, ed il prezzo per il conferimento dei rifiuti C&D in discarica e in impianto di trattamento, con lo scopo di comprendere gli andamenti economici che influenzano, a loro volta, i consumi delle materie prime e gli impatti del settore. Con la valutazione degli impatti che vengono prodotti a seguito della valorizzazione dei rifiuti da C&D in moduli antierosione in calcestruzzo, si conclude l'elaborato di questo lavoro di tesi che intende definire un approccio replicabile e generalizzabile per la riqualificazione di altri edifici o aree dismesse in un'ottica di economia circolare.

La metodologia adottata è, infatti, un esempio degli strumenti che abbiamo a disposizione per favorire la transizione da un'economia lineare ad un'economia circolare per il settore dei materiali da costruzione.

1. Circular Economy e settore edilizio

1.1 Il modello economico lineare

Il modello economico lineare ha caratterizzato lo sviluppo industriale a livello globale degli ultimi 150 anni (Ellen MacArthur Foundation, 2012). Esso è basato sull'estrazione di materie prime, la conseguente trasformazione in prodotti finiti, il loro consumo e infine lo smaltimento degli stessi, una volta terminata la loro funzione, come rifiuti.

Se da una parte tale sistema di produzione e consumo ha permesso la crescita e il miglioramento del benessere della popolazione mondiale, grazie all'accesso a prodotti di qualità sempre maggiore ad un costo sempre minore, dall'altro, questo modello economico che si basa ampiamente sullo sfruttamento intensivo di risorse ed energia non rinnovabili va inevitabilmente incontro ai problemi legati alla loro natura finita.

Il PIL mondiale è cresciuto di 20 volte tra il 1900 e il 2000, frutto del progresso tecnologico e della crescente possibilità di accesso alle risorse, della creazione di catene di fornitura globalizzate e dall'automazione dei processi produttivi (Ellen MacArthur Foundation, 2013). I dati affermano che in Europa, nell'arco di cent'anni, l'industrializzazione abbia decuplicato l'uso di materie prime e incrementato di sette volte il consumo domestico di energia.

La crescita economica degli ultimi anni ha portato anche ad una forte urbanizzazione sia demografica.

Questo fenomeno tenderà ad aumentare e prevede che entro il 2030 ci saranno ben 41 mega-city (città con oltre 10 milioni di abitanti) e che entro il 2050 il 64% della popolazione mondiale abiterà nei centri urbani (ISTAT, 2017). Per ospitare questo afflusso crescente sarà necessario ingrandire o adeguare la città utilizzando una quantità, conseguentemente crescente, di risorse naturali che andrà ad impattare in modo sostanziale sull'ambiente.

La *Global Footprint Network* ha constatato che da oltre 50 anni tendiamo a consumare più risorse rispetto a quelle che la biosfera riesce a rigenerare e produciamo maggiori rifiuti rispetto quelli che il Pianeta riesce ad assorbire. Questo studio è stato fatto utilizzando l'*Earth Overshoot Day* che è un indice che rappresenta il numero di giorni in cui la bio-capacità della Terra è in grado di coprire l'impronta ecologica umana. Il numero di giorni è calcolato all'interno di un anno e i giorni restanti rappresentano "il debito" che l'uomo ha nei confronti della Terra. Arrivare ad essere in debito con il Pianeta è la vera e propria prova di come l'uomo sfrutti la natura in modo insostenibile.

Ogni anno sempre di più l'*Earth Overshoot Day* tende ad essere rappresentato da qualche giorno prima rispetto a quelli degli anni precedenti. Questo dipende da quanto consumiamo in termini di materia e di energia, dall'efficienza con cui produciamo, dal numero della popolazione e da quanto la natura riesci a produrre. Possiamo osservare che all'interno di questi quattro fattori il numero della popolazione e la domanda delle risorse naturali sono in continuo aumento dunque è facile dire che questo influenzi negativamente il risultato dello studio (Il giorno in cui l'umanità va in debito-Earth Overshoot Day, 2014).

Nel 2017 l'*Earth Overshoot Day* è avvenuto il 2 agosto, bisogna fare un passo indietro al 1970 per far coincidere quel giorno con l'ultimo dell'anno. Attualmente, la Terra ha bisogno dell'equivalente di 1,7 pianeti (come mostrato in figura 1), per soddisfare le sue richieste annuali di risorse (Global Footprint Network, www.footprintnetwork.org).

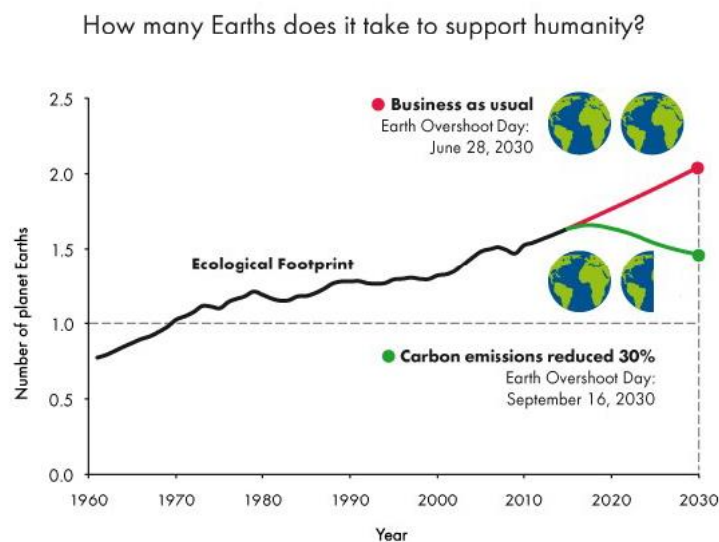


Fig. 1.1 Variazione dell'impronta ecologica della terra nel tempo
(Fonte: www.footprintnetwork.com)

La crescente domanda proveniente dalle economie emergenti potrebbe far aumentare esponenzialmente l'uso dei materiali, ma dato il vincolo di risorse disponibili sul nostro pianeta, tutto ciò si tradurrebbe in un incremento del costo degli input e quindi dei prezzi.

Il modello di consumo lineare, in un pianeta in cui le risorse naturali disponibili sono limitate, oltre ad impattare sui i prezzi degli input e dei beni di consumo, dimostra di non funzionare nemmeno dal punto di vista geopolitico. Dalla letteratura accademica emergono diversi articoli che correlano guerre e conflitti alla scarsità di risorse naturali.

Dunque, in questa situazione c'è bisogno di cambiare il modello economico, c'è bisogno di un cambiamento a monte, dove bisogna migliorare la gestione delle risorse naturali, aumentando la loro efficienza produttiva nei processi di produzione e consumo, riducendo gli sprechi e cercando di mantenere il più alto possibile il valore di prodotti e materiali. A valle occorre evitare di far smaltire in discarica tutto quello che possiede ancora una qualsiasi possibile utilità e anzi, cercare di recuperarlo e reintrodurlo nel sistema economico. Questi due aspetti fondamentali rappresentano l'essenza dell'Economia Circolare che punta a far diventare le attività economiche più efficienti e a meno impatto sull'ambiente grazie all'innovazione tecnologica e ad una migliore gestione.

1.2 Il concetto di *Circular Economy*

La prima definizione di economia circolare, e forse ancora la più accurata ed esaustiva, è quella redatta dalla Ellen MacArthur Foundation. Questa dice “è un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnologici, destinati a essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera” (Ellen MacArthur Foundation, 2012). In altre parole, si può affermare che l'economia circolare sia un modello che va a rovesciare i valori che hanno dominato il XX secolo. Sostanzialmente, l'economia circolare può anche essere definita come l'operazione concettuale di piegare la linea retta dell'economia capitalista piegandola su sé stessa, in questo modo, gli scarti, i rifiuti e la materia inutilizzata ritornano all'interno del ciclo industriale come nuovo punto di partenza, ovvero come nuove materie prime costituenti (Brambilla, 2016). Una particolare attenzione va posta alla differenza tra economia circolare ed altri rami dell'ecologismo, come Sviluppo Sostenibile, Green Economy e Economia della Decrescita, onde evitare facili incomprensioni.

Partendo dallo Sviluppo Sostenibile, con questo si intende “un processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e cambiamenti istituzionali sono resi coerenti con i bisogni futuri oltre a quelli attuali”.

Nella Green Economy invece, il principio di base è la riduzione delle emissioni e dell'impatto ambientale mediante provvedimenti in favore dello sviluppo sostenibile, con l'uso di energie rinnovabili, la riduzione dei consumi, il riciclaggio dei rifiuti. Tutto

questo deve essere perseguito ad ogni costo, senza preoccuparsi dello svantaggio che potrebbero averne altri campi. Purtroppo, tale movimento ha creato un notevole incremento dell'uso di biocarburanti di prima generazione, con la conseguente diminuzione dei terreni coltivati a scopo alimentare, creando così crisi alimentari in alcuni Paesi in via di sviluppo.

L'Economia della Decrescita infine, prevede la riduzione delle emissioni, dei consumi, della produzione industriale ma senza considerare nessun parametro occupazionale o sociale.

L'economia circolare invece, oltre ad essere un modello ambientale è anche un modello sociale, vuole perseguire un profitto (come per l'economia lineare) ma in modo sostenibile, sia per la Terra che per l'uomo. Essa non intende raggiungere come unico scopo la riduzione dei rifiuti, dell'utilizzo dei combustibili fossili o una decrescita, ma propone una valida, e probabilmente necessaria, alternativa all'economia lineare, senza dimenticare il benessere dei singoli ma andando anzi a porlo al centro dei propri obiettivi.

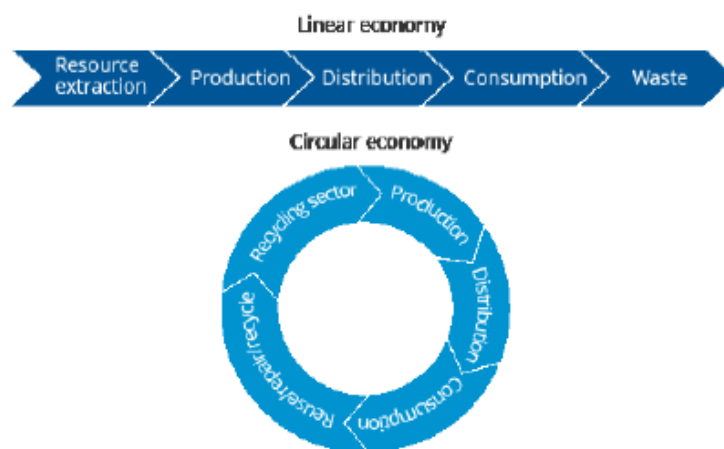


Fig.1.2 Rappresentazione delle fasi del ciclo di vita nei due modelli lineare e circolare
(Fonte: report.akzonobel.com)

1.3 Il settore edile ed i principali impatti

L'industria delle costruzioni, che interessa tutti i tipi di intervento edilizio, dalla costruzione, alla manutenzione, alla ristrutturazione alla demolizione, ha sostenuto la

crescita della popolazione, e la conseguente industrializzazione e urbanizzazione, attraverso la realizzazione di infrastrutture e abitazioni.

Edificare, però, genera impatti sull'ambiente non solo all'atto della costruzione, ma anche lungo tutto il processo, nelle diverse fasi del *life cycle*, dall'approvvigionamento delle materie prime, produzione e trasporto fino alla dismissione dell'edificio e smaltimento delle macerie da demolizione. Tali interventi si configurano nella maggior parte dei casi come processi produttivi lineari, *dalla culla alla tomba*, con consumo di risorse e produzione di rifiuti.

Gli impatti dovuti ai modelli di produzione industriale che si attengono a processi lineari sono insostenibili, sia dal punto di vista ambientale che da quello socio-economico in quanto si ha:

- consumo del suolo e dissesto idrogeologico causato dall'attività estrattiva, dall'apertura di discariche e dal disboscamento;
- inquinamento atmosferico dovuto prevalentemente alle emissioni di gas serra associate ai processi produttivi ed al trasporto;
- consumo di risorse naturali non rinnovabili (materie prime);
- produzione di scarti di lavorazione;
- produzione di rifiuti da costruzione e demolizione (C&D);
- inquinamento indoor dovuto alle emissioni nocive in fase d'uso;
- consumo di energia per l'estrazione o la raccolta, per la produzione fuori opera ed in opera e per il trasporto.

Tra questi impatti quelli che possono essere ritenuti più influenti sono la produzione di rifiuti C&D, il consumo di risorse e il consumo energetico (Altamura P. , 2015).

Per quanto riguarda il **problema energetico**, il settore delle costruzioni dell'UE è responsabile annualmente del 40% dei consumi energetici e del 35% delle emissioni di gas serra. Si può osservare che, a confronto con l'energia operativa degli edifici, diminuita negli ultimi anni grazie al diffondersi di strategie e dispositivi per il risparmio energetico in uso - come ad esempio l'utilizzo di materiali isolanti, la coibentazione termica dell'edificio, l'uso di collettori solari per la produzione di acqua calda e così via - il quantitativo di energia incorporata negli edifici, dovuta all'estrazione, lavorazione, trasporto e messa in opera dei materiali, appare più consistente. Se si guarda in particolare, agli edifici di nuova generazione a basso consumo energetico in fase d'uso, l'impatto dell'*embodied energy* appare ancora più marcato, anche perché spesso i

materiali più performanti sotto il profilo termico sono sintetici e ad alto consumo energetico con connesse emissioni di CO₂.

L'energia incorporata, dunque, rappresenta la misura dell'energia utilizzata nel ciclo di produzione dei materiali fino al loro utilizzo finale, calcolata come la quantità di energia non rinnovabile per unità di materiale edile espressa in GJ/t o kWh/kg. Nella valutazione dell'*embodied energy* di un edificio, oltre al valore dell'energia incorporata nel singolo materiale deve essere sommata l'energia spesa per il trasporto fino al cantiere e per la messa in opera. Esistono due forme di energia incorporata per un edificio:

- la prima è quella iniziale che interessa la fase di estrazione, lavorazione e trasformazione dei materiali utilizzati: ovviamente l'energia utilizzata è differente in base al tipo di materiale d'interesse. Per esempio, si ha un contenuto limitato di energia per legno, calcestruzzo, laterizi e un alto contenuto di energia per leghe di alluminio;
- l'altra forma di energia incorporata invece è quella per la manutenzione e il ricambio dei materiali.

Se si adottassero pratiche di prevenzione, riuso e riciclo dei rifiuti allo scopo di aumentare l'efficienza nell'uso di risorse si riuscirebbero a ridurre suddetti impatti. Queste pratiche sarebbero in grado di contenere anche il consumo energetico in quanto consentirebbero di ridurre il quantitativo di energia primaria necessario alla pre-produzione e alla produzione degli edifici attraverso la conservazione dell'energia incorporata nei materiali e componenti soggetti a recupero.

1.3.1 L'estrazione di materie prime e l'impatto delle attività estrattive

L'edilizia è il settore che consuma maggiori materie prime non rinnovabili. I materiali da costruzione impiegati sono, infatti, più di 2 miliardi di tonnellate/anno (Davidsen C., 2010) e rappresentano circa il 50% delle materie prime estratte dalla crosta terrestre ogni anno.

L'attività estrattiva comporta lo sfruttamento intensivo del suolo, divenuto ormai una materia prima sempre meno disponibile in virtù della sua non rinnovabilità. Inoltre, le materie prime estratte necessitano in molti casi di essere trattate successivamente con processi più o meno impattanti per essere utilizzati nel settore delle costruzioni e nell'edilizia. Si possono riscontrare impatti sia di carattere temporaneo, che permanenti

sull'ambiente circostante il perimetro dell'attività estrattiva. L'asportazione di grandi quantità di materiale va a modificare ampiamente la morfologia del territorio, in particolar modo se l'attività estrattiva sia effettuata in prossimità dei fiumi, si potrebbe manifestare l'alterazione idrogeologica e idrografica. I cambiamenti del reticolo idrologico può provocare lo svuotamento di serbatoi sotterranei causando fenomeni erosionali e franosi dei versanti.

Dal rapporto di Legambiente del 2017 riguardante le cave, possiamo individuare 4.752 cave attive presenti, mentre 14.000 circa quelle dismesse. I dati non possono vantare di accuratezza in quanto abbiamo l'assenza di monitoraggio per le cave del Friuli-Venezia Giulia ed inoltre non possediamo dati aggiornati di molte delle cave presenti in Lazio e Campania.

A causa della crisi che ha segnato il settore edilizio, si può constatare dai dati un calo delle quantità estratte di materiali, in particolare per sabbia e ghiaia, ma nonostante ciò i numeri rimangono comunque molto alti e l'Italia resta uno dei Paesi europei con la maggior produzione di cemento e consumo pro capite (Legambiente, 2017) anche perché l'estrazione di materiali lapidei ha visto risultati record per il sesto anno consecutivo grazie alle esportazioni.

Sono 53 i milioni di metri cubi estratti nel 2015 solo per sabbia e ghiaia, materiali necessari per la produzione di calcestruzzo (cls), elevati anche i quantitativi di calcare estratto: 22,1 milioni di metri cubi, necessario per il ciclo produttivo del cemento e di pietre ornamentali che va a raggiungere oltre 5,8 milioni di metri cubi. Quello che si può osservare, dunque, è che l'estrazione di sabbia e ghiaia rappresenta il 61% di tutti i materiali cavati in Italia, con Lombardia, Puglia e Piemonte che da sole raggiungono oltre il 59,3% del totale estratto ogni anno.

Si tratta delle aree del Paese dove il mercato delle costruzioni e delle infrastrutture costituisce una delle fonti principali delle economie regionali e dove risulta meno evidente il calo nella quantità degli inerti estratti dovuta alla crisi degli ultimi anni, più visibile invece nelle altre Regioni.

RIPARTIZIONE DELLE CAVE PER GRUPPI DI MATERIALI ESTRATTI

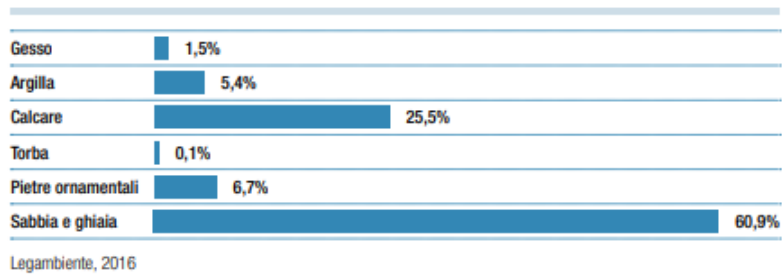


Fig.1.3 Ripartizione delle cave per gruppi di materiali estratti
(Fonte: Rapporto Legambiente 2017)

NUMERO CAVE ATTIVE E ABBANDONATE NELLE REGIONI ITALIANE

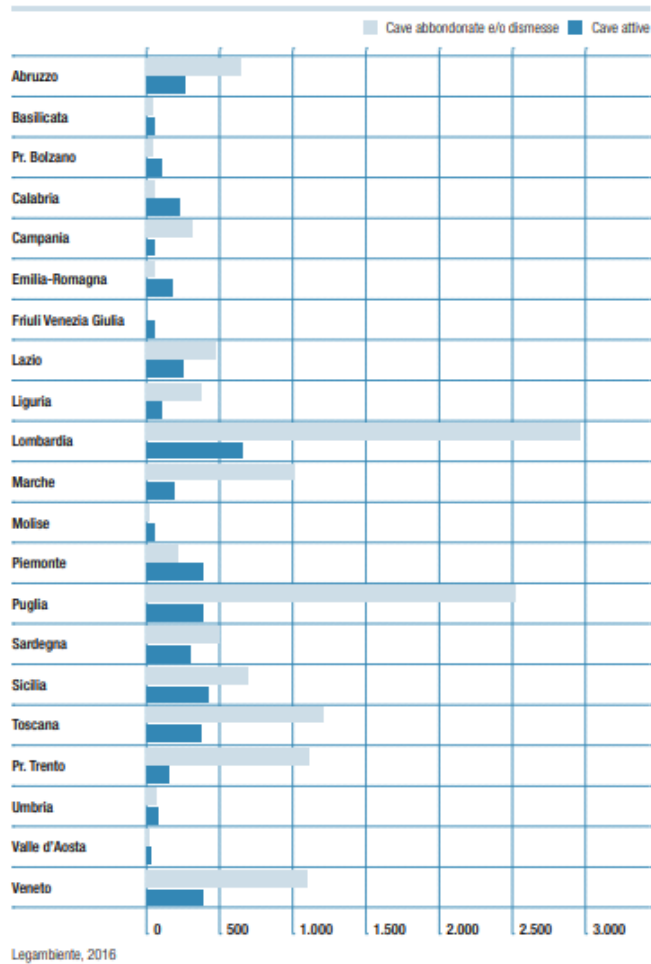


Fig. 1.4 Numero cave attive e abbandonate nelle regioni italiane
(Fonte: Rapporto Legambiente 2017)

1.3.2. Il quadro politico italiano

La normativa nazionale che regola le attività estrattive risale al Decreto Regio n. 1443 del 29 luglio 1927, che non tiene in alcun modo conto degli impatti provocati al territorio. Successivamente la competenza sulle cave è stata trasferita alle Regioni con il Decreto del Presidente della Repubblica n.2 del 1977. Ai rilevanti problemi legati a un quadro normativo inadeguato, si sommano una pianificazione incompleta e una gestione delle attività estrattive senza controlli pubblici trasparenti. In alcune regioni mancano Piani Specifici di Programmazione, come in Abruzzo, Veneto, Molise, Sardegna, Friuli-Venezia Giulia, Calabria, Basilicata, e ciò vuol dire mancanza di limiti alla localizzazione ed estensione della cava, nonché alle quantità di materiali estraibili.

Quindi ad oggi non c'è ancora stato un intervento normativo nazionale che determini criteri univoci per tutto il Paese. Un passo importante è stato il recepimento della Direttiva Europea 85/337 con cui si è stabilito che le cave con più di 500.000 m³ di materiale estratto o con un'estensione superiore ai 20 ettari devono essere sottoposte alla procedura di VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) sotto il controllo delle Regioni; negli altri casi, in cui le volumetrie sono minori di 500.000 m³ e i siti sono ubicati al di fuori di aree protette, è previsto che i progetti siano sottoposti a Verifica di Assoggettabilità a VIA, con lo scopo di valutare se possono avere un impatto significativo sull'ambiente e devono essere sottoposti alla fase di valutazione secondo le disposizioni del decreto di riferimento (D. Lgs 4/2008).

Inoltre, i canoni di concessione delle cave, che permettono di contenere il costo delle materie prime, sono molto bassi in relazione al prezzo di vendita e alla media europea e ciò consente di estrarre materiali quasi a costo zero. Queste condizioni inducono a ignorare l'alternativa di ricorrere agli aggregati riciclati all'impiego di materiali naturali (Nanni, Febbraio 2017).

Il prezzo che le società devono pagare per la concessione varia da Regione a Regione e dipendono dalla tipologia di materiale estratto. Nella maggior parte delle Regioni italiane i canoni per l'estrazione di sabbia e ghiaia sono molto bassi (0,7 €/m³ per Lombardia ed Emilia-Romagna, 0,3 per il Lazio e 0,08 per la Puglia). In Sardegna e Basilicata si può addirittura cavare, senza distinzione di materiale, del tutto gratuitamente.

Una soluzione potrebbe essere quello di aumentare le tasse per l'estrazione di materiale primario in modo da incentivare le società ad utilizzare riciclati, laddove le loro

caratteristiche prestazionali lo consentano, e lasciare spazio agli aggregati naturali dove siano richieste maggiori performance.

1.4 Produzione e recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&D)

All'evidente problema ambientale legato al consumo delle materie prime si aggiunge il grave impatto in termini di produzione di **rifiuti nelle attività di costruzione, manutenzione e demolizione**.

Il concetto di rifiuto è un'acquisizione relativamente recente e ha assunto un rilievo specifico nelle economie moderne, dalla rivoluzione industriale ad oggi.

Il termine viene definito dal comma 1, lettera a) del decreto legislativo 22/97 (Decreto Ronchi) come “qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'allegato A e di cui il detentore si disfi o abbia deciso di o abbia l'obbligo di disfarsi”.

A prescindere dalle definizioni legislative, il rifiuto è un materiale disorganizzato ed antropico, a differenza delle materie prime da cui è generato, organizzate e presenti in natura. Rifiuti sono il prodotto di un'economia di consumo, di un processo di modernizzazione che si definisce in relazione a tutto ciò che diventa scarto. Lo scarto è quello che si produce sia prima che dopo il consumo o l'uso delle merci: già durante la produzione, la parte superflua e la materia scartata per ottenere l'oggetto subiscono un rapido declassamento e diventano un rifiuto. Con il decadere della funzione originale del bene, esso conclude il suo percorso di vita e da elemento naturale diviene rifiuto.

I rifiuti non sono sempre stati un problema in quanto, fino agli anni '60, questi venivano generalmente recuperati. Il problema è iniziato a sorgere nel momento in cui si è sviluppata la cultura dell' “usa e getta” e quando ci si è resi conto che i rifiuti non sono più contenibili nel sottosuolo nascosto, ma vanno definendo, in quest'ultimo secolo, per la loro elevata produzione, i contorni dei nostri paesaggi (Territori e culture della metropoli contemporanea, 2002).

1.4.1 Definizione ed origine dei rifiuti da C&D

Più in particolare, definiamo ora, i rifiuti da **Costruzione & Demolizione (C&DW)**, i quali sono rappresentati da una vasta gamma di materiali, derivanti dalla demolizione totale o parziale di edifici e/o di infrastrutture civili, di suolo, rocce e vegetazione derivanti dal livellamento terreni, opere civili o generali fondazioni, materia derivata da scarifica stradale e materiali associati derivanti da attività di manutenzione stradale (Symonds with ARGUS, February 1999). Le tipologie di materiale che fanno parte di questa categoria di rifiuti sono svariate, come calcestruzzo, gesso, legno, vetro, metalli, plastica, mattoni, solventi, materiali isolanti, amianto e terre da scavo. Questi sono individuati nella *European List of Waste*, istituita dalla Decisione della Commissione 2000/532/CE il 3 maggio 2000, con il codice 17: in Tabella si possono osservare i codici CER (Catalogo Europeo dei Rifiuti) dei rifiuti C&D e la loro definizione.

Codice	Definizione
17 01	Cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche
17 01 01	Cemento
17 01 02	Mattoni
17 01 03	Mattonelle e ceramiche
17 01 06* ¹	Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, contenenti sostanze pericolose
17 01 07	Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17 01 06
17 02	Legno, vetro e plastica
17 02 01	Legno
17 02 03	Plastica
17 02 04* ¹	Vetro, plastica e legno contenenti sostanze pericolose o da esse contaminati
17 03	Miscele bituminose, catrame di carbone e prodotti contenenti catrame
17 03 01* ¹	Miscele bituminose contenenti catrame di carbone
17 03 02	Miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 17 03 01
17 03 03* ¹	Catrame di carbone e prodotti contenenti catrame
17 04	Metalli (incluse le loro leghe)
17 04 01	Rame, bronzo, ottone
17 04 02	Alluminio
17 04 03	Piombo
17 04 04	Zinco
17 04 05	Fero e acciaio
17 04 06	Stagno
17 04 07	Metalli misti
17 04 09* ¹	Rifiuti metallici contaminati da sostanze pericolose
17 04 10* ¹	Cavi impregnati di olio, di catrame di carbone o di altre sostanze pericolose
17 04 11	Cavi diversi da quelli di cui alla voce 17 04 10
17 05	Terra (compreso il terreno proveniente da siti contaminati), rocce e fanghi di dragaggio
17 05 03* ¹	Terra e rocce contenenti sostanze pericolose
17 05 04	Terra e rocce, diverse da quelle alla voce 17 05 03
17 05 05* ¹	Fanghi di dragaggio, contenenti sostanze pericolose
17 05 06	Fanghi di dragaggio, diversi da quelli di cui alla voce 17 05 05
17 05 07* ¹	Pietrisco per massicciate ferroviarie, contenente sostanze pericolose
17 05 08	Pietrisco per massicciate ferroviarie, diverso da quello di cui alla voce 17 05 07
17 06	Materiali isolanti e materiali da costruzione contenenti amianto
17 06 01* ¹	Materiali isolanti contenenti amianto
17 06 03* ¹	Altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose
17 06 04	Materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03
17 06 05* ¹	Materiali da costruzione contenenti amianto
17 08	Materiali da costruzione a base di gesso
17 08 01* ¹	Materiali da costruzione a base di gesso contaminati da sostanze pericolose
17 08 02	Materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17 08 01
17 09	Altri rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione
17 09 01* ¹	Rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione, contenenti mercurio
17 09 02* ¹	Rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione, contenenti PCB (ad esempio sigillanti contenenti PCB, pavimentazioni a base di resina contenenti PCB, elementi stagni contenenti PCB, condensatori contenenti PCB)
17 09 03* ¹	Altri rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione (compresi rifiuti misti) contenenti sostanze pericolose
17 09 04	Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03

¹ Rifiuto pericoloso

Fig. 1.5 Elenco dei rifiuti derivanti dalle operazioni di costruzione e demolizione (compreso il terreno proveniente da siti contaminati) e rispettivo codice CER identificativo (Commissione Europea, s.d.)

I rifiuti da C&D vengono dunque considerati come un'unica categoria, ma in realtà, come si può osservare dalla tabella, ne fanno parte svariati materiali con caratteristiche tra loro differenti. L'appartenenza di un rifiuto ad una specifica categoria ne sottolinea le peculiarità e ne determina le opzioni di trattamento più idonee.

La variabilità della composizione dei materiali di scarto dipende da svariati fattori, in primis il tipo di attività da cui i rifiuti hanno avuto origine (costruzione/demolizione), ma anche le pratiche di cantiere e le modalità e tecniche di costruzione e/o demolizione adottate. Questo fa sì che tali materiali di scarto si differenziano molto tra paese e paese. Anche la quantità e la tipologia dei rifiuti da C&D che vengono riciclati dipendono dalla disponibilità, a livello nazionale e regionale, di impianti per il trattamento delle diverse frazioni di scarti, dal clima, dall'attività economica. Ad esempio, i rifiuti C&D derivanti dalle attività di costruzione di nuovi edifici o infrastrutture risultano più omogenei, meno contaminati e presentano quindi una maggiore potenzialità di recupero, mentre quelli originati da attività di demolizione, che rappresentano anche la frazione maggiore, appaiono molto eterogenei e possono contenere sostanze inquinanti, specie nel caso in cui vengano adottate pratiche di demolizione non selettiva, risultando più difficili da recuperare. Anche il livello di sviluppo economico e industriale di un Paese va a determinare la qualità dei materiali impiegati per le costruzioni e di conseguenza anche la qualità e quantità dei rifiuti prodotti; nei Paesi meno sviluppati, ad esempio, la qualità del calcestruzzo o di altri materiali da costruzione è più bassa, e questo può portare ad un tasso di demolizione più alto (Borghi, 2016).

I rifiuti da costruzione, demolizione e scavo possono essere suddivisi in tre categorie:

1. *Frazione riutilizzabile*: costituita da quegli elementi che possono essere riconvertiti direttamente alla loro funzione originale: finestre, inferriate di balconi, travi, ... etc.;
2. *Frazione riciclabile*: costituita soprattutto dalla frazione litoide, ma non sono esclusi legno non trattato e metalli, mentre l'utilizzo dal punto di vista termico riguarda i componenti organici, come elementi in PVC o legno trattato. A differenza della frazione riutilizzabile, con il suo recupero, questa frazione non conserva né la forma né la funzione originaria;
3. *Frazione inutilizzabile*: costituita dai componenti indesiderati presenti nel materiale da riciclare o dalle frazioni che contengono inquinanti da conferire in discarica o trattare separatamente.

1.4.2. La produzione e riciclo di rifiuti da C&D nell'Unione Europea

Si stima che nel territorio dell'UE siano presenti circa 210 milioni di edifici, dei quali il 1,2% è soggetto ad interventi di ristrutturazione all'anno (2.25 milioni di edifici), mentre il tasso annuale di demolizione è pari allo 0,1% (circa 210000 edifici l'anno). Le attività di costruzione e demolizione parziale e totale in fase di manutenzione o ristrutturazione generano un flusso di rifiuti piuttosto problematico e di ingenti porzioni (Pezzini, 2011).

La produzione di rifiuti nell'UE nel 2004 ha raggiunto un totale di 1,3 miliardi di tonnellate all'anno ed i rifiuti da C&D si attestavano sul 39% del totale, per complessive 510 milioni di tonnellate, pari a 1.126 kg/ab. all'anno. Nel 2006 è stato raggiunto un picco della produzione, con 970 milioni di tonnellate, ovvero il 49% dei rifiuti totali (Pezzini, 2011). Dai dati più recenti forniti da Eurostat invece si riscontra che nel 2014 I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) rappresentano uno dei flussi più ingenti prodotti nell'Unione Europea, pari al 34,8% del quantitativo totale di rifiuti prodotti in Europa nel 2014 (dati Eurostat).

I maggiori produttori dell'UE sono Francia, Germania, Regno Unito, Paesi Bassi ed Italia.

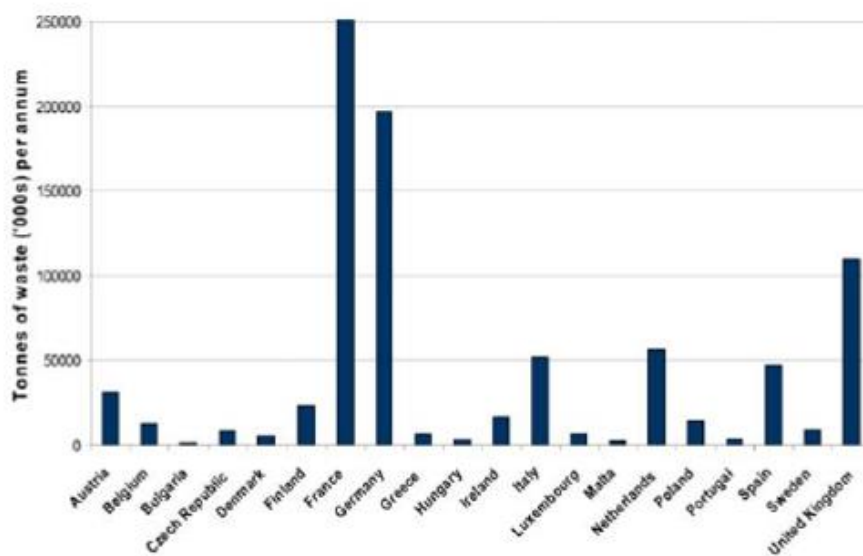


Fig. 1.6 Produzione annuale di rifiuti da costruzione e demolizione (in migliaia di tonnellate) per i principali paesi dell'Unione Europea.

I materiali riciclati sono prevalentemente inerti derivanti da demolizione di strutture in calcestruzzo e laterizio, scarti di materiali ceramici e di minerali, asfalto, più un'ampia percentuale di terre e rocce da scavo ed una quantità limitata di legno, vetro, metallo e plastica (Bressi, 1992) (Rigamonti E. , 1995).

La percentuale di riciclo (inteso in questo caso come riuso/riciclo/recupero energetico/altro tipo di recupero) dei rifiuti da C&D varia notevolmente tra i diversi paesi dell'Unione e raggiunge valori significativi soltanto in alcuni paesi (Regno Unito, Paesi Bassi, Germania). Per molti altri Paesi, 6 dei 27, inclusa l'Italia, non abbiamo valori completi ed affidabili sulle quantità di materiale riciclato e per questo motivo è possibile solo una stima della percentuale effettivamente riciclata. Dal confronto di stime e di dati di letteratura si può affermare che il tasso medio di riciclo per l'Unione Europea si attesta tra il 30-60% (ENV, 2011).

1.4.3 Produzione e recupero di rifiuti C&D in Italia

La definizione generale attualmente in vigore in Italia per i rifiuti C&D è la seguente: i rifiuti C&D sono rifiuti speciali provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e scavo, individuati nell'Allegato D alla IV parte del D.lgs 152/2006 appartenenti al Capitolo 17 del Catalogo Europeo dei Rifiuti come istituito dalla Decisione della Commissione Europea 2000/532/CE del 3 maggio 2000. Quindi anche per l'Italia i codici di riferimento identificativi dei rifiuti C&D sono i codici CER già presentati in Tabella.

La maggior parte dei rifiuti da C&D in Italia si genera in interventi edilizi di piccola scala, di manutenzione straordinaria o ristrutturazione. In questo tipo di interventi si producono il 92% dei rifiuti da demolizione. Essi sono generati da micro-demolizioni che avvengono per il 53% in edifici residenziali. Solo l'8% dei rifiuti viene prodotto nella demolizione integrale di edifici. Le produzioni eccezionali di rifiuti da demolizione, legate a grandi interventi edilizi (demolizione di tre fabbricati abusivi di Punta Perotta a Bari) o dovute a calamità naturali, restano fuori dalle rilevazioni sistematiche e sono regolate da procedure eccezionali, come è avvenuto nel terremoto de l'Aquila e dell'Emilia-Romagna.

La composizione merceologica media dei rifiuti da C&D in Italia è dominata dalla frazione inerte essendo costituita per il 75-90% da questi, gran parte laterizi e

calcestruzzo, sabbia, gesso e terre da scavo, per il 4-8% da plastica, legno, carta e cartone, per il 3-7% da metalli.

CATEGORIA DI RIFIUTO	% IN PESO SUL TOTALE
Calcestruzzo	30,0
Calcestruzzo non armato	10,0
Calcestruzzo armato	20,0
Laterizio (tegole, mattoni, forati)	50,0
Asfalti	5,0
Scavi	6,0-10,0
Carta e cartone	0,6-4,0
Metallo	3,0
Varie	1-1,4

Tab. 1.1 Composizione merceologica dei rifiuti da C&D

I dati più attendibili derivano dal rilevamento delle tipologie di rifiuti in ingresso negli impianti di riciclaggio che possono essere individuati e questi sono: frammenti conglomerati cementizi anche armati, laterizi, rivestimenti e prodotti ceramici, scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in cls anche armato, frammenti di sovrastrutture stradali e ferroviarie, conglomerati bituminosi fresati a freddo, intonaci, allettamenti, terre e rocce da scavo. I materiali ceramici (rifacimenti di tetti, spostamento di muri divisorii interni, sostituzione di rivestimenti ecc.) rappresentano il 45% degli scarti conferiti agli impianti di riciclaggio, questi materiali insieme ai laterizi rappresentano quasi esclusivamente lo scarto del 90% delle demolizioni, mentre per quanto riguarda le demolizioni integrali, il calcestruzzo rappresenta il 30% dei detriti.

Dal rapporto sui Rifiuti Speciali - ISPRA 2019, si stima che i rifiuti generati dalle attività da costruzione e demolizione abbiano contribuito per il 43.6% della produzione complessiva dei rifiuti speciali. Inoltre, tra il 2016 e il 2017 si rileva un aumento nella produzione totale di rifiuti speciali, pari al 2,9%, corrispondente a circa 4 milioni di tonnellate. L'incremento registrato è quasi del tutto imputabile ai rifiuti non pericolosi, e in particolare a quelli da operazioni di costruzione e demolizione che aumentano del 4,9%, pari a oltre 2,6 milioni di tonnellate. Più contenuto appare l'aumento della produzione delle altre tipologie di rifiuti non pericolosi desunta dalla banca dati MUD (+1,7%, quasi 1,2 milioni di tonnellate).

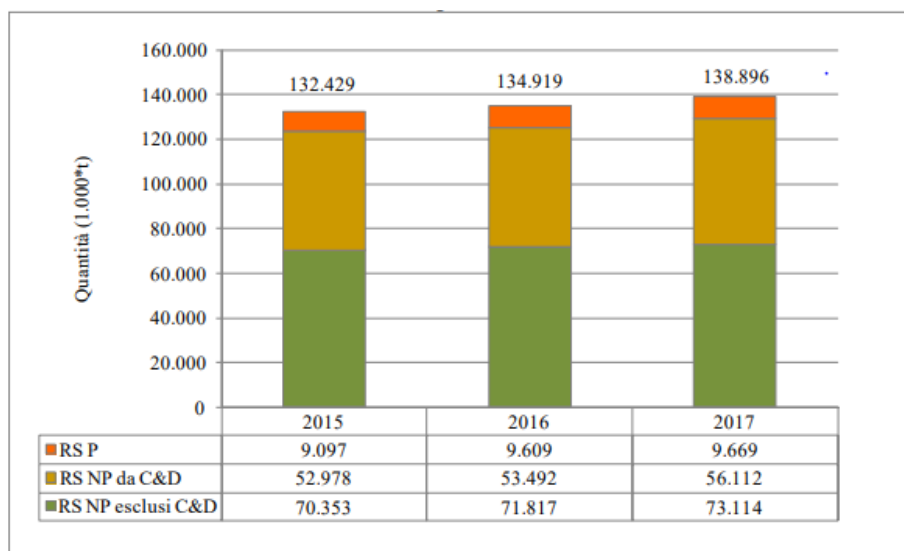


Fig. 1.7 Produzione (in migliaia di tonnellate) di rifiuti speciali pericolosi, non pericolosi da C&D, e non pericolosi esclusi quelli C&D, nella fascia di anni 2015-2017

Da come si può osservare dai grafici, la produzione di Rifiuti Speciali Non Pericolosi da C&D nella fascia di anni 2015-2017, è aumentata fino ad arrivare a 56.112 milioni di tonnellate.

Questi dati sono stati ricavati dalle elaborazioni delle banche dati MUD (Modello Unico di Dichiarazione Ambientale), contenenti le dichiarazioni che sono annualmente presentate alla camera di commercio da parte dei produttori di rifiuti e dei diversi soggetti coinvolti nella gestione dei rifiuti.

Rispetto a come accade per i rifiuti urbani o per i rifiuti pericolosi, i dati relativi alla produzione di rifiuti da C&D non pericolosi non derivano direttamente dalla fonte. Infatti, mentre tutti i produttori di rifiuti speciali pericolosi sono tenuti annualmente alla presentazione del MUD, per quanto riguarda i produttori di rifiuti speciali non pericolosi, solo le aziende produttrici di rifiuti con meno di 10 dipendenti (Decreto del Presidente del Consiglio del 27/12/2014), non sono obbligati a presentare la dichiarazione ambientale. Questo causa l'impossibilità di tracciare direttamente i flussi prodotti di rifiuti da C&D in quanto in Italia i produttori di C&D sono essenzialmente rappresentati da aziende medio-piccole. Per tale ragione, il dato della produzione totale di C&D porta ad ottenere una stima estremamente sottostimata e del tutto irrealistica.

Considerando però che gli impianti di gestione dei rifiuti sono obbligati a presentare il MUD, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) quantifica

la produzione a ritroso in base alle stime effettuate dalle singole ARPA, e quindi considerando i rifiuti gestiti nei diversi impianti di trattamento e smaltimento delle diverse regioni. Le indicazioni fornite dalle ARPA non escludono dal computo molti dei trattamenti di gestione intermedi, per questo motivo si ottengono dei risultati e delle stime variabili da regione a regione che portano ad una disomogeneità nelle metodologie di calcolo delle quantità di rifiuti C&D prodotti, rendendo le stime non sempre confrontabili e sfociando in incongruenze anche significative a livello nazionale (Giulia Borghi, 2017).

1.5 La transizione dell'industria verso un sistema economico circolare nell'industria

Questo critico contesto esprime la necessità di trovare soluzioni pratiche ed attuare una politica che interessi tutta la comunità e le imprese e che si basi sulla "chiusura del ciclo". Per 'chiudere il ciclo' nei processi produttivi umani l'unica soluzione possibile è quella di compiere interventi tecnico-scientifici e politici che ridefiniscano le modalità di impiego dei materiali e assicurando il riuso integrale degli scarti. Eliminare il concetto di rifiuto ed intenderlo invece come risorsa, dovrebbe essere alla base di un nuovo modo di concepire i processi di produzione di manufatti e costruzione.

Dunque, è necessario accelerare la transizione verso un modello economico circolare che si basi sullo sviluppo sostenibile.

Uno degli obiettivi chiave dello sviluppo sostenibile, definito nel *Rapporto Brundtland, Our Common Future*, nel 1987, è quello di riconciliare le aspirazioni di progresso sociale, sviluppo economico, protezione dell'ambiente e conservazione delle risorse naturali, garantendo un'equità di accesso alle risorse per le future generazioni.

A livello internazionale, uno dei documenti più importanti è quello dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), il cui titolo è "Trasformare in nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile" e gli obiettivi di sviluppo sostenibile (*Sustainable Development Goals- SDSs*).

L'agenda 2030 contiene ben 17 obiettivi. L'obiettivo numero 12 riguarda il "Consumo e la produzione responsabile" e quindi ciò che conosciamo come "*doing more and better with less*" (fare di più e meglio con meno). Nello specifico l'obiettivo numero 12 si propone di realizzare determinati traguardi, tra gli altri i seguenti:

- Entro il 2030, raggiungere la gestione sostenibile e l'utilizzo efficiente delle risorse naturali;
- Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo;

La transizione verso un sistema ad economia circolare, in cui i materiali e l'energia utilizzati per realizzare i prodotti mantengono il loro valore il più a lungo possibile, i rifiuti sono ridotti al minimo e si utilizzano quante meno risorse possibili, rappresenta uno dei punti cardine della politica ambientale dell'Unione Europea per sviluppare un'economia sostenibile, competitiva e a basso consumo di carbonio. Tale transizione risponde ad esigenze tanto ambientali, quanto economiche e sociali. Potrebbe, infatti, migliorare le condizioni ambientali, con ricadute positive su tutti gli aspetti che lo compongono, compresa la salute umana, ma altrettanto potrebbe fare con riguardo alle attività produttive in termini di risparmio sulle spese per i materiali e sulle innovazioni tecnologiche, con ricadute importanti anche sul versante occupazionale.

Nel caso specifico trattato riguardo il settore dell'industria, l'Unione Europea ha avuto modo di affermare che “la transizione verso un'economia più circolare, in cui il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto quanto più a lungo possibile e la produzione di rifiuti è ridotta al minimo, è una componente indispensabile degli sforzi messi in campo dall'Unione europea per sviluppare un'economia che sia sostenibile, rilasci poche emissioni di biossido di carbonio, utilizzi le risorse in modo efficiente e resti competitiva. Questa transizione offre all'Europa l'occasione di trasformare l'economia e generare nuovi vantaggi competitivi sostenibili” (Europea, 2.12.2015).

Tale piano di azione individuava misure chiave e aree specifiche di intervento tra cui: la progettazione ecologica, lo sviluppo dei mercati delle materie prime secondarie, l'adozione di modelli di consumo più sostenibili, la gestione dei rifiuti.

Il Pacchetto europeo di misure sull'economia circolare è stato approvato in via definitiva il 22 maggio 2018 e secondo quanto riportato dal comunicato stampa della Commissione Europea del 22 maggio 2018, “Le nuove norme aiuteranno a produrre meno rifiuti e, quando ciò non è possibile, ad aumentare in modo sostanziale il riciclaggio dei rifiuti urbani e dei rifiuti di imballaggio. Ridurrà gradualmente la pratica della discarica e promuoverà l'uso di strumenti economici, come i regimi di responsabilità estesa del produttore. La nuova legislazione rafforza la “gerarchia dei rifiuti”, imponendo agli Stati membri l'adozione di misure specifiche che diano priorità

alla prevenzione, al riutilizzo e al riciclaggio rispetto allo smaltimento in discarica e all'incenerimento, facendo così diventare realtà l'economia circolare”.

1.5.1 PRINCIPI NORMATIVI: modifiche direttiva 2008/98/UE da parte della direttiva 2018/851/UE

Questo Pacchetto sull'economia circolare va a modificare differenti direttive. Tra queste vi è la Direttiva Quadro 2008/98/CE, relativa ai rifiuti, che è stata modificata dalla Direttiva 30 maggio 2018, n. 2018/851/UE del Parlamento europeo e del Consiglio dell'Unione europea, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 14 giugno 2018, n. L 150, che rispetto alla precedente versione, vuole produrre un “allargamento” e rafforzamento degli obiettivi che la Direttiva intende perseguire, con un focus particolare al decisivo passaggio verso l'economia circolare.

Per limitare gli impatti sull'ambiente dovuti allo smaltimento dei rifiuti prodotti dall'uomo è necessario che esistano delle linee guida e politiche di gestione adeguate ad ogni tipologia di rifiuto e contesto. Inoltre, dato l'elevato tasso di produzione dei rifiuti da C&D non pericolosi in Europa ed il loro notevole potenziale di riuso e riciclo, la **Direttiva Quadro sui rifiuti (2008/98/CE)** ha imposto che “entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, incluse operazioni di colmatazione che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, escluso il materiale allo stato naturale definito alla voce 17 05 04 dell'elenco dei rifiuti, deve essere aumentata almeno al 70% in termini di peso”.

Per il raggiungimento degli obiettivi imposti dalla Direttiva, gli strumenti vigenti nei Paesi dell'UE si basano su principi fondamentali, che sono nello specifico:

- 1) Il principio della miglior opzione ambientale (art.4), cioè di minimizzazione degli impatti negativi sull'ambiente e sulla salute umana nel trattamento dei rifiuti;
- 2) Il principio “chi inquina paga” o di “responsabilità estesa del produttore”, (art.14). Ciò vuol dire che i costi della gestione dei rifiuti, quindi dello smaltimento, trasporto ecc., vanno sostenuti da chi detiene il rifiuto, da chi lo ha detenuto in una fase precedente o, a ritroso, dal produttore del bene diventato rifiuto a fine ciclo. In questo contesto i costi per il conferimento in discarica di

rifiuti da C&D dovrebbero essere aumentate per dimostrare il diretto rapporto tra il valore del materiale da costruzione e il danno dovuto al suo smaltimento.

- 3) I principi di prossimità e autosufficienza (art.16), secondo cui ogni Stato membro si dota di una rete integrata e adeguata di impianti concepita in modo da consentire l'autosufficienza dell'UE nel suo complesso e dei singoli Stati nello smaltimento e nel recupero di rifiuti urbani indifferenziati (La.Fem.Me, 2013). Per fare ciò i rifiuti devono essere gestiti il più vicino possibile al luogo di produzione. In riferimento al settore edile, ciò si traduce nella gestione in cantiere.

Il principio di gerarchia Europea dei rifiuti (art.4) esprime l'approccio da adottare nel trattamento dei rifiuti per minimizzare la quantità e massimizzare il recupero di materiali ed energia. In base a questo principio esiste un preciso ordine di priorità tra le diverse opzioni per la gestione di rifiuti, un ordine che va dalla: **Prevenzione, Preparazione per il riutilizzo, Riciclaggio, Recupero di altro tipo (energia)** e infine **Smaltimento** in discarica come ultima e residuale alternativa.



Fig.1.8 Piramide descrittiva del principio di gerarchia dei rifiuti

L'obiettivo della gerarchia è quello di far arrivare allo smaltimento la minor quantità possibile di rifiuti.

La preparazione per il riutilizzo, e dunque il riuso, compare nella Gerarchia come seconda opzione, subito dopo la prevenzione, questo perché il riuso consente quasi

sempre di minimizzare l'invio dei rifiuti in discarica e la produzione di CO₂, rispetto al riciclo che può richiedere l'utilizzo di molta energia.

Questo articolo è stato ampliato nella Dir. N.2018/851/UE, la quale ha introdotto un paragrafo nel quale stabilisce che gli Stati membri ricorrono a strumenti economici e ad altre misure per incentivare l'applicazione della gerarchia dei rifiuti. Questi strumenti sono descritti nell'Allegato IV bis che contiene un elenco diretto ad incentivare la realizzazione dell'economia circolare con, ad esempio, tasse e restrizioni per il collocamento in discarica e l'incenerimento dei rifiuti che incentivano la prevenzione e il riciclaggio, lasciando il collocamento in discarica come opzione di gestione dei rifiuti meno preferibile e regimi di tariffe puntuali (*pay-as-you-throw*) che gravano sui produttori di rifiuti sulla base della quantità effettiva di rifiuti prodotti, etc.

Inoltre, un'ulteriore raccomandazione agli Stati riguarda i **sottoprodotti**, cioè quegli scarti di produzione che possono essere gestiti come beni e non come rifiuti, se soddisfano tutte le condizioni previste dalla legge, con grandi vantaggi economici e gestionali. A riguardo, ciò che vuole trasmettere la nuova direttiva è l'adozione di misure opportune per aiutare a riconoscere come sottoprodotto una sostanza o un oggetto derivante da un processo di produzione il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto e che non sia considerato rifiuto, bensì sottoprodotto se sono soddisfatte le condizioni di cui al medesimo articolo 5, paragrafo 1 della Direttiva 2008/98/CE, che disciplina i sottoprodotti. Tali condizioni sono rimaste le medesime rispetto al precedente testo, la novità, invece, consiste nel prevedere che le stesse condizioni oggi "devono" sussistere obbligatoriamente affinché tali sostanze siano considerate sottoprodotti, al contrario, del precedente testo che ne prevedeva solo la "possibilità".

1.5.2 Principi normativi nazionali

Nel contesto nazionale, il riferimento principale, dal punto di vista normativo, in tema di rifiuti è rappresentato dal **Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i (il cosiddetto Testo unico ambientale)** Parte IV. In questo, si cerca di prediligere il riuso rispetto al riciclo, come viene sancito dalla Gerarchia Europea dei Rifiuti. Tale normativa descrive le condizioni possibili per cui può avvenire il riuso. Nel momento in cui sono soddisfatti i definiti requisiti nella normativa, la prima condizione è l'attribuzione della definizione di sottoprodotto e quindi della diretta esclusione dai rifiuti dei materiali ricavati da

processi di costruzione e demolizione. La seconda possibile condizione è che vengano compiute le operazioni di preparazione del materiale per il riutilizzo, la trasformazione di tale in un nuovo prodotto, definendo le condizioni di *End of Waste*.

La prima condizione di riuso di materiale edile, in particolar modo proveniente da demolizione, sarebbe conveniente e più semplice rispetto la seconda. Questo perché il rifiuto deve essere gestito attraverso procedure complesse ed onerose per giungere alla cessazione di qualifica di rifiuto stesso, in quanto deriva da un processo produttivo che ha un altro scopo. Il riutilizzo può essere preventivato, o attraverso l'inserimento di materiali e componenti riutilizzabili tra quelli di progetto o con la previsione della loro cessazione a terzi per l'impiego in altri edifici. Inoltre, il riutilizzo dell'elemento è possibile grazie alla rispondenza dei requisiti tecnici previsti per quel tipo di prodotto.

In realtà vi è una diffusa difficoltà nel collocare un materiale da demolizione riutilizzabile all'interno della nozione di sottoprodotto. sarebbe utile infatti se, a livello nazionale, venissero elaborati i criteri auspicati dall'art. 6 della Dir.2008/98/UE per l'individuazione delle tipologie di oggetti e materiali che possono essere considerati sottoprodotti. Senza questi criteri, sono i progettisti che dovrebbero definire quali scarti da costruzione e demolizione possano essere considerati sottoprodotti. Nel farlo si dovrebbero fare carico dei rischi legati alla presenza di eventuali sostanze nocive presenti nei sottoprodotti. Per accertarsi della qualità dei materiali sarebbe dunque necessario effettuare dei test di laboratorio, spesso troppo costosi in rapporto allo scarso valore economico attribuibile ai sottoprodotti. Tutte queste condizioni negative fanno in modo che molti scarti, anche se recuperabili, sono direttamente considerati rifiuti.

Per quanto riguarda esclusivamente i rifiuti da demolizione la Corte di cassazione-sezione penale, inoltre, sostiene che non sia possibile rispettare e applicare ciò che viene espresso nell'art. 184-bis del D.lgs 152/2006 riguardo i sottoprodotti perché “sostenere che la demolizione di un edificio possa considerarsi un processo di produzione, da cui possono quindi derivare sottoprodotti, rappresenterebbe una forzatura. Forzatura che consiste nel dichiarare che il prodotto finale della demolizione sia la nuova costruzione. Dunque, la Cass. Pen. 28 luglio 2015, n.33028, esprime che: “La demolizione di un edificio non può essere considerata “un processo di produzione” e quindi gli inerti che ne derivano sono rifiuti che non possono essere qualificati come sottoprodotti” (Lio, 2018).

1.5.3 Concetto di “End of Waste”

Fatte queste considerazioni andiamo ad approfondire, dunque, il concetto di *End of Waste*.

L'art. 184-ter Dlgs 152/06, “Cessazione della qualifica di rifiuto” (concetto di “*End of Waste*”), fornisce le condizioni per la cessazione della qualifica di rifiuto e indica quali sono le operazioni che rientrano nelle attività di recupero. Secondo tale articolo, un rifiuto cessa di essere tale quando è stato sottoposto a un'operazione di recupero e rispetta tutte le seguenti condizioni:

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

Anche in questo contesto, la Direttiva 30 maggio 2018, n. 2018/851/UE ha apportato delle modifiche alla direttiva precedente. Innanzitutto, si impone agli Stati membri di adottare misure appropriate per garantire che i rifiuti sottoposti ad una operazione di riciclaggio o di recupero di altro tipo cessino di essere considerati tali. Inoltre, viene sostituito il paragrafo 4, concernente i criteri *E.o.W* “caso per caso” nel quale gli stati membri possono decidere caso per caso o adottare misure appropriate al fine di verificare che determinati rifiuti abbiano cessato di essere tali senza inviare notifiche alla Commissione ma semplicemente rendendo pubbliche tramite strumenti elettronici le informazioni, riguardo le decisioni adottate, e sui risultati della verifica eseguita dalle autorità (Confindustria, 31 Ottobre 2018).

Il 3 novembre 2019 è entrata in vigore la legge 128/2019 che affida alle Regioni, in mancanza di criteri dettagliati e nel rispetto della direttiva 2008/98/Ce, il compito di rilasciare/rinnovare le autorizzazioni “caso per caso” *EoW*. Il provvedimento converte definitivamente in legge, con modifiche, il decreto-legge 101/2019 recante “*Disposizioni urgenti per la tutela del lavoro e per la risoluzione di crisi aziendali*” (C 2203), introducendo un nuovo articolo 14-bis recante disposizioni in materia di “Cessazione della qualifica di rifiuto”.

La norma in questione, attraverso la modifica e l'integrazione dell'articolo 184-ter Dlgs 152/2006, stabilisce che le autorizzazioni per lo svolgimento delle operazioni di recupero vengano rilasciate o rinnovate “nel rispetto” delle condizioni di cui l'art.6 della

direttiva 2008/98/Ce e “sulla base” di criteri dettagliati (riguardanti i rifiuti in entrata, i processi e i materiali in uscita) che devono essere definiti nell’ambito degli stessi procedimenti autorizzati.

In questo nuovo decreto-legge, il Ministero dell’Ambiente attraverso il Registro nazionale delle autorizzazioni, potrà ordinare controlli a livello nazionale. Le ispezioni sono state affidate all’Ispra e all’Arpa che potranno effettuare controlli a campione dei provvedimenti autorizzati adottati, riesaminati e rinnovati, con il successivo coinvolgimento del Ministero dell’Ambiente. Nel caso in cui vengano riscontrate delle non conformità, la norma prevede l’obbligo delle autorità competenti di avviare procedimenti tesi all’adeguamento degli impianti, da parte del soggetto interessato, ovvero a disporre, in caso di mancato adeguamento, la revoca dell’autorizzazione. Le autorizzazioni in essere alla data del 3 novembre 2019, quelle per le quali è in corso il rinnovo o che risultano scadute ma per le quali è presentata un’istanza di rinnovo entro il 2 marzo 2020, sono fatte salve e saranno rinnovate nel rispetto del nuovo comma 3 dell’articolo 184-ter del Dlgs 152/2006 (Geremei, 2019).

1.5.4 Problematiche legate alla definizione di “EoW” e della gestione di rifiuti da C&D

Nel caso della produzione di aggregati per la costruzione le prime tre condizioni della definizione di *End of Waste* sono verificate e soddisfatte nel momento in cui si applica la marcatura CE sulla base delle norme tecniche europee armonizzate (CEN). Ma più problematico è fissare delle regole per soddisfare la condizione d), cioè quella relativa alla preservazione della salute umana e dell’ambiente. Gli operatori del settore ritengono che le modalità per valutare gli impatti oggi presenti nella normativa sul recupero dei rifiuti (DM 5/2/98 e s.m.i.) non siano idonei al settore dei rifiuti inerti e sia pertanto necessario rifarsi alla definizione di *EoW* presente nelle norme e ragionare ex-novo sull’opportunità di mantenere limiti alla cessione sui materiali o inserire nuovi criteri e/o metodi di misura.

Le problematiche si estendono anche nella metodologia di esecuzione dei test e alla preparazione dei campioni rappresentativi che rendono complesso fissare un criterio ripetibile ed affidabile (ANPAR, L’End of Waste dei rifiuti inerti, 30 Settembre 2018). Ai fini della gestione dei rifiuti da C&D è necessario conoscere le operazioni di recupero ammissibili e nel caso di recupero o riciclo, i requisiti tecnici saranno garantiti dalla

marcatura CE (o dal soddisfacimento delle specifiche tecniche fornite dai clienti per i semilavorati) mentre i requisiti ambientali dovranno essere fissati proprio in funzione delle modalità d'uso degli aggregati, che potranno impattare sulle diverse matrici ambientali in modo completamente diverso.

Anche queste modifiche che sono state inserite nella normativa però, non rendono facile l'iter per la determinazione della cessazione della qualifica di rifiuto, in quanto sarebbero necessarie delle linee guida e dei criteri specifici. Gli operatori del recupero hanno necessità di regole certe perché nel quadro normativo attuale sono presenti ampi spazi di interpretazione che possono comportare gravissime conseguenze (contenziosi civili, blocco dell'attività, sequestro degli impianti, avvio di procedimenti penali) anche per gli imprenditori più attenti e coscienti.

Per di più, l'ANPAR (Associazione Nazionale Produttori Aggregati Riciclati) sostiene che non tutti i rifiuti inerti da C&D, indicati come soggetti a recupero, vengono effettivamente riciclati come aggregati nel settore dell'edilizia in quanto, molti di questi vengono utilizzati come sistemi di copertura per le messe in sicurezza delle discariche, pratica che non corrisponde ad un vero e proprio recupero. Solo una percentuale limitata dei rifiuti inerti recuperati raggiunge l'effettivo "*end of waste*" grazie ad un processo di riciclo che li trasforma in prodotti idonei con marcatura CE commerciabili in sostituzione degli inerti naturali. La gran parte dei processi di riciclo in Italia riguarda scarti pre-consumo (di lavorazione industriale) o post-consumo provenienti dalla raccolta differenziata degli RSU, e solo raramente gli scarti da costruzione e demolizione.

Tali pratiche necessitano di essere fortemente integrate sul fronte dei rifiuti da C&D, come previsto dalla Direttiva Europea in materia di rifiuti, recepita in Italia attraverso il D.lgs. 205/2010 in quanto l'ANPAR, sulla diretta conoscenza della realtà industriale degli impianti di riciclo, ha stimato che l'effettiva percentuale di riciclo sia nell'intorno del 10%.

Questo limitato tasso di recupero è incentivato dal livello di tariffe per il conferimento in discarica dei rifiuti inerti, più basso rispetto ad altri paesi europei, oltre che dal basso costo delle materie prime. Ulteriore limitazione è rappresentata dal fatto che non esiste, ad oggi, un censimento ufficiale degli impianti autorizzati al recupero delle diverse frazioni di rifiuto da C&D presenti sul territorio nazionale.

Si può quindi concludere che le problematiche che caratterizzano la gestione dei rifiuti da C&D in Italia sono molteplici e possono essere sintetizzati dai seguenti punti:

- L'incertezza sui dati del fenomeno che ostacola anche il processo di pianificazione delle misure necessarie per sanare il problema;
- La scarsa chiarezza sul quadro normativo, che caratterizza l'intero settore dei rifiuti, ed in particolare la gestione degli scarti da C&D e delle terre e rocce da scavo e la loro potenzialità di esclusione della definizione di "rifiuto";
- La limitata capacità di innovazione e di organizzazione che caratterizza il settore edile: al fine di ottimizzare la gestione dei metalli e dei rifiuti nel processo edilizio, infatti, sono necessari la pianificazione ed il controllo delle attività in cantiere, alle quali gli operatori non si rendono spesso disponibili;
- L'impreparazione del settore industriale in materia, questa tipologia di rifiuto, per quanto complessa, richiederebbe la necessità dell'innovazione tecnologica di trattamento e di un efficace sistema di controllo della qualità del riciclaggio.
- La scarsa capacità di collaborazione e dispersione di energie tra istituzioni e amministrazioni pubbliche preposte ai vari settori interessati e ai vari livelli di competenza territoriale.
- La resistenza culturale e l'indifferenza degli operatori del settore delle costruzioni rispetto al tema rifiuti e la diffidenza nel ricorso alle materie prime secondarie, nonostante fossero previste per le stazioni appaltanti pubbliche dalla normativa sul Green Public Procurement.

1.5.5 Green Public Procurement (GPP) o Acquisti Verdi

Un altro strumento volto al raggiungimento degli obiettivi delle principali strategie europee come quella sull'uso efficiente delle risorse o quella sull'economia circolare è il GPP (Green Public Procurement, cioè Acquisti Verdi nella pubblica amministrazione). Questo è definito dalla Commissione europea come: “[...] l'approccio in base al quale le Amministrazioni Pubbliche integrano i criteri ambientali in tutte le fasi del processo di acquisto, incoraggiando la diffusione di tecnologie ambientali e lo sviluppo di prodotti “ambientalmente preferibili”, attraverso la ricerca e la scelta dei risultati e delle soluzioni che hanno il minore impatto possibile sull'ambiente lungo l'intero ciclo di vita”.

Per prodotti “ambientalmente preferibili” intendiamo quei prodotti con bassi consumi energetici, privi di sostanze pericolose, costituiti da materiale riciclato e di facile riciclabilità.

Il GPP è stato riconosciuto come uno strumento di fondamentale importanza nella “Politica Integrata dei Prodotti” (IPP) che rientra anch’essa nella strategia comunitaria per lo sviluppo sostenibile e ha come obiettivo quello di ridurre l’impatto ambientale dei prodotti lungo l’intero ciclo di vita, ricorrendo ad un approccio orientato verso la competitività del mercato economico. Gli strumenti dell’IPP sono rappresentati da etichette ecologiche, tasse ecologiche, responsabilità estesa dei produttori, appalti ed acquisti pubblici “verdi”, incentivi, ecodesign e banche dati. Tra essi la Valutazione del Ciclo di Vita dei prodotti (*Life Cycle Assessment, LCA*) assume un ruolo di particolare rilievo, rappresentando la metodologia ideale per valutazioni quantitative sul ciclo di vita, negli strumenti di gestione ambientale (Carlo Collivignarelli, *Indicazioni e criteri per l’utilizzo degli aggregati riciclati nel settore edile, stradale e ambientale*, 2018).

Il GPP è stato introdotto in Italia dal 2008 con il Piano d’azione nazionale GPP che ha previsto l’adozione, con successivi decreti ministeriali, dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) per ogni categoria di prodotti, servizi e lavori acquistati o affidati dalla Pubblica amministrazione.

1.5.6 I CAM (criteri ambientali minimi)

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

Se si sceglie di adottare un sistema di acquisti verdi, diventa decisiva la valutazione di aspetti ambientali come il tipo e la quantità di materie prime utilizzate, la produzione di rifiuti ed emissioni durante la fabbricazione del prodotto o l’erogazione del servizio, l’efficienza energetica nella fase di produzione e in quella di utilizzo, i trasporti dal luogo di produzione a quello di consumo e la possibilità di riciclare il prodotto in tutto o in parte.

La loro applicazione sistematica ed omogenea consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili e produce un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione. Infatti, gli Enti Pubblici, essendo tra i consumatori più importanti per capacità e necessità di spesa, incidono molto sull’ambiente con i propri acquisti. Per questo, con l’introduzione di criteri ecologici nelle procedure d’acquisto gli

Enti Pubblici possono ridurre l'impatto umano sull'ambiente e stimolare la promozione di modelli di produzione e consumo più sostenibili, "circolari" e nel diffondere l'occupazione "verde".

Rispetto al settore edile la normativa di riferimento è rappresentata dal D. Lgs. 50/2016 s.m.i. e dal D.M. 24 dicembre 2015 s.m.i. Il Decreto in oggetto descrive i "Criteri Ambientali Minimi" da utilizzare per gli appalti di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la gestione dei cantieri.

I "criteri ambientali minimi" sono definiti per le diverse fasi della procedura di gara d'appalto e hanno l'obiettivo di migliorare il servizio o il lavoro prestato, assicurando prestazioni ambientali al di sopra della media del settore. Esistono due diversi tipi di criteri ambientali, ci sono quelli "di base" e quelli "premiati". Nel merito, si precisa che un appalto può essere definito "verde", ai sensi del PAN GPP, solo se include almeno i criteri di base.

Facendo riferimento all' Allegato 1 del Decreto – "Affidamento del servizio progettazione per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la progettazione e gestione del cantiere", in fase di costruzione, ristrutturazione e manutenzione devono essere utilizzati materiali volti alla riduzione dell'impatto ambientale sulle risorse naturali e che favoriscano l'uso di materiali riciclati (con particolare riguardo ai rifiuti da demolizione e costruzione, coerentemente con l'obiettivo di recuperare e riciclare entro il 2020 almeno il 70% dei rifiuti non pericolosi da costruzione e demolizione).

Tali criteri si identificano, pertanto, come indicazioni di carattere tecnico a supporto degli acquisti, da parte delle PA, di lavori, forniture e servizi che producano il minor impatto ambientale possibili e sono:

1. Il contenuto di materia prima seconda recuperata o riciclata nei materiali utilizzati per l'edificio, anche considerando diverse percentuali per ogni materiale, deve essere pari ad almeno il 15% in peso valutato sul totale di tutti i materiali utilizzati. Di tale percentuale, almeno il 5% deve essere costituita da materiali non strutturali.
2. Almeno il 50% dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati (calcolato in rapporto sia al volume sia al peso dell'intero edificio) deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituita da materiali non strutturali;
3. Non è consentito l'utilizzo di prodotti contenenti sostanze ritenute dannose per lo strato d'ozono;

4. Non devono essere utilizzati materiali contenenti sostanze elencate nella Candidate List del regolamento REACH (Regolamento CE 1907/2006). Sempre nell'Allegato 1 del Decreto – “Affidamento del servizio progettazione per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la progettazione e gestione del cantiere” sono definiti **i quantitativi minimi di aggregato riciclato** per ogni materiale: “Criteri specifici per i componenti edilizi”.

Componente		Contenuto minimo materiali riciclati [% in peso]
Calcestruzzi (e relativi materiali componenti) confezionati in cantiere, preconfezionati e prefabbricati		5
Laterizi	Per muratura e solai	10
	Per coperture, pavimenti e muratura faccia vista	5
Ghisa, ferro, acciaio	Acciaio da forno elettrico	70
	Acciaio da ciclo integrale	10
Materie plastiche (sul totale di tutti i componenti in materia plastica utilizzati)		30
Murature in pietrame e miste		Solo materiale di recupero (pietrame e blocchetti)
Tamponature, tramezzature e controsoffitti (prodotti in gesso)		5

Tab. 1.2 Tabella riassuntiva delle percentuali minime di aggregato riciclato in ogni materiale

I calcestruzzi usati per il progetto devono essere prodotti con un contenuto minimo di materia riciclata di almeno il 5% in peso. Tale contenuto deve essere inteso come la somma delle percentuali di materia riciclata presente nei singoli componenti (cemento, aggregati, aggiunte, additivi) e deve essere compatibile con i limiti imposti dalle specifiche norme tecniche.

I laterizi utilizzati per la realizzazione di muratura e solai devono avere un contenuto di materiale riciclato per almeno il 10% in peso. Al contrario, i laterizi per coperture, pavimenti e murature faccia vista devono presentare un contenuto di almeno il 5% in peso (Carlo Collivignarelli, Indicazioni e criteri per l'utilizzo degli aggregati riciclati nel settore edile, stradale e ambientale, Giugno 2018).

Dunque, si può dire che i Criteri Ambientali Minimi rappresentano un chiaro segnale sia del crescente interesse che si sta sviluppando attorno al tema della sostenibilità ambientale, che un forte messaggio da parte del settore pubblico all'incentivazione dell'utilizzo degli aggregati riciclati (da tesi).

1.6 La gestione dei rifiuti da C&D

1.6.1 La gestione dei residui da C&D e loro valorizzazione attraverso la demolizione selettiva

I residui derivanti da attività di costruzione e demolizione, in particolare fino a pochi anni fa, venivano considerati a tutti gli effetti rifiuti, peso per la società destinato ad essere smaltito in discarica, fino all'eventuale cessazione della qualifica di rifiuto, grazie al recupero e alla valorizzazione di questi. Oggigiorno il settore del recupero è soggetto a continue evoluzioni, non solo normative ma anche riguardanti l'implementazione delle tecniche di valorizzazione dei rifiuti da C&D, come la demolizione selettiva, i metodi per il successivo trattamento e le successive fasi di caratterizzazione del materiale recuperato.

Come è stato detto, i rifiuti da C&D sono rifiuti speciali e non essendo considerati rifiuti urbani non possono essere trattati come tali in quanto, i materiali ed i prodotti che vengono usati nel settore edile potrebbero essere composti da sostanze tossiche con conseguenze cancerogene, allergiche o irritanti (Cresceri, 2016).

Solo i privati cittadini hanno la possibilità di conferire i rifiuti da costruzione e demolizione derivanti dalle attività di manutenzione delle proprie abitazioni ai centri di raccolta rifiuti comunali, senza dover ricorrere ad un trasporto iscritto all'Albo Nazionale dei Gestori Ambientali.

Possiamo individuare due diverse categorie di questi materiali in base all'origine: quelli provenienti da demolizione selettiva o da una demolizione non selettiva.

Il metodo di demolizione adottato mira all'abbattimento totale o parziale di un'opera imprimendo differenti sollecitazioni. Per ciascuno si utilizzano differenti mezzi. I più utilizzati sono martelli demolitori o con escavatori a braccio lungo che riescono ad ottimizzare le rese e i costi di demolizione e ottengono anche grande efficienza in termini di velocità, ma che andranno a produrre un materiale molto eterogeneo per essere inviato in impianti di riciclo.

Un edificio contiene numerosi componenti che possono essere recuperati e riciclati. Dunque, la scelta del metodo di demolizione da utilizzarsi non deve essere condotta solo in base alla struttura da demolire e al lavoro da eseguire, ma anche tenendo conto delle possibilità di riciclaggio del materiale di demolizione e dei successivi effetti ambientali. Infatti, l'utilizzo di questi materiali per sottofondi stradali o dei rilevati consente di far risparmiare risorse specialmente, se a seguito di una demolizione, deve

esserci una ricostruzione. Gli aspetti positivi, oltre al risparmio di materia prima e trasporti, riguardano il beneficio ambientale che si riesce ad ottenere, sia sul fronte della riduzione dei rifiuti che saranno conferiti in discarica e il conseguente uso del suolo, che sul fronte della limitazione dell'*embodied energy* degli edifici, grazie allo sfruttamento di quella già incorporata nei componenti e nei materiali esistenti.

Per far sì che questo avvenga, come è definito anche dai Criteri Ambientali Minimi (CAM), è necessario che l'edificio sia soggetto a demolizione selettiva. L'adozione di questa pratica ha un ruolo importante nell'implementazione dell'economia circolare.

L'utilizzo della demolizione selettiva è necessario per preservare una buona qualità del rifiuto e massimizzare la quantità della frazione riciclabile. È definita anche come la modalità di de-costruzione di una struttura mediante smontaggio progressivo delle parti costituenti da consentire la separazione di elementi riusabili, nelle diverse frazioni costituenti il rifiuto da demolizione, nonché l'allontanamento delle sostanze estranee o inquinanti, tenendo conto che in un'ottica di riciclaggio, il materiale di demolizione acquista valore quanto più è selezionato. Quindi, una pratica di demolizione selettiva comporta un prodotto secondario di maggior valore prestazionali e riduce la quantità di materiali misti destinati a discarica (efficienza del recupero).

1.6.2 L'audit di pre-demolizione e le successive operazioni

Per raggiungere in modo migliore questi obiettivi, a volte vengono utilizzate tecniche di demolizione selettiva molto accurate che non prevedono l'utilizzo di macchine, ma operazioni manuali. Le *best practice*, finalizzate alla chiusura del cerchio, indirizzano il progettista della demolizione a compiere un audit di pre-demolizione necessario per individuare le tipologie e la quantità di materiale potenzialmente riutilizzabile o riciclabile presenti nei fabbricati da abbattere. Questa attività è ritenuta propedeutica per la demolizione poiché grazie ad essa è possibile ottenere:

- *List of Material's Report*: l'elenco e la quantificazione delle tipologie di materiale che compongono l'edificio;
- *Choice of Deconstruction Practice*: la definizione delle modalità e le pratiche di intervento al fine di aumentare i materiali potenzialmente riutilizzabili e ridurre i materiali da inviare a smaltimento;
- *Cost Deconstruction Report*: la definizione dei costi delle operazioni de-costruzione e individuare il prezzo di vendita dei materiali recuperati;

- *Materials Certification*: la definizione dei controlli sui materiali recuperati al fine del riuso (Ghiglietti, 2018).

L'audit di pre-decostruzione/demolizione nelle pratiche legate allo sviluppo dei Piani di Gestione dei rifiuti di C&D, è introdotto come adempimento obbligatorio per progetti e cantieri di edilizia pubblica, insieme alle procedure di demolizione selettiva, in linea con l'indicazione della Green Public Procurement (GPP), con lo scopo di portare maggiormente l'attenzione verso l'ambiente e la sostenibilità.

Inoltre, i benefici che si possono ottenere grazie a questo step sono la riduzione dei potenziali rischi legati allo smaltimento dei rifiuti, l'esatta pianificazione delle attività di decostruzione, l'individuazione delle metodiche di decostruzione più idonee, l'individuazione dei macchinari più idonei, la definizione esatta dei costi legati alle attività di decostruzione ed il controllo sui materiali recuperati. Uno dei suoi più grandi valori è quello di avere la capacità di ricollocare e valorizzare i materiali all'interno di un mercato economico, possibilmente locale.

Nonostante tutti questi aspetti positivi, la demolizione selettiva è una tecnica che viene ancora eseguita di rado in quanto richiede costi aggiuntivi, rispetto alle tecnologie di demolizione tradizionale, variabili dal 10% al 20%.

Inoltre, tra le cause del basso livello di riciclo e riuso dei rifiuti da C&D si riscontrano i vincoli pratici ricorrenti in molti progetti di demolizione, tra cui in particolare la ristrettezza dei tempi nel programma dei lavori. Dato che le opere di demolizione avvengono per lo più in occasione di nuove costruzioni, generalmente esse devono essere svolte in un arco di tempo molto limitato, il che rende poco praticabile una corretta decostruzione dell'edificio esistente. Per lo più, i costi della manodopera necessaria per la demolizione selettiva, ovvero i costi per il recupero dei materiali esistenti, superano attualmente i prezzi dei materiali nuovi. Problema riconducibile al livello troppo limitato delle vigenti tasse sul conferimento in discarica dei rifiuti, non sufficienti a far da deterrente per la demolizione distruttiva. Va inoltre detto che l'incremento dell'attenzione rispetto ai temi della sicurezza in cantiere ha fatto aumentare i prezzi di alcune operazioni di riciclo. Infine, il tempo necessario per la demolizione selettiva è reso eccessivo dalle caratteristiche costruttive degli edifici esistenti, quasi mai concepiti per facilitare il disassemblaggio, il riuso e il riciclo. I costi sono dunque una barriera importante dato che il processo edilizio è essenzialmente guidato da aspetti economici.

Un aspetto riguardante entrambe le tipologie di demolizione, sia quella selettiva che quella totale, è che all'interno dell'area di cantiere o nel deposito di cantiere devono essere eseguite tutte le operazioni di cernita e selezione dei rifiuti prodotti nelle diverse tipologie da avviare a riutilizzo all'interno al cantiere o a recupero o a smaltimento all'esterno del cantiere. I rifiuti devono essere sottoposti ad un raggruppamento per tipologie omogenee, con l'obbligo di separare innanzitutto i rifiuti pericolosi dagli altri. Gli adempimenti sono i seguenti:

- Rifiuti non pericolosi: accertamento dell'assenza di determinate sostanze, separazione in categorie omogenee nel rispetto delle relative norme tecniche;
- Rifiuti pericolosi: accertamento delle sostanze pericolose, separazione in categorie omogenee nel rispetto delle norme, imballaggio ed etichettatura. Lo stoccaggio deve essere effettuato in appositi contenitori muniti di etichette (Altamura P. , 2015).

È necessario rimuovere i materiali pericolosi che sono presenti all'interno dei rifiuti ottenuti dalla demolizione o dagli scarti delle costruzioni in modo da non avere contaminazioni. In questo modo i rifiuti possono essere avviati facilmente agli impianti di riciclo. La contaminazione potrebbe interessare, oltre che i rifiuti da C&D, l'atmosfera ed il terreno attraverso fenomeni di diffusione, esponendo anche gli operatori che eseguono la demolizione a rischi. Fin quando i materiali sono riconoscibili, dunque, possono essere rimossi manualmente evitando inconvenienti. Inoltre, la presenza di impurezze nel materiale in ingresso agli impianti di recupero (gesso, asfalto, legno, gomma, plastica, etc.) ne limita le possibilità d'impiego dopo il trattamento e/o condiziona la scelta della tecnologia di riciclaggio da adottare, quindi se si hanno rifiuti non contaminati si riesce a riciclare con maggiore facilità e si ha maggiore riconducibilità alla tipologia di materiali (Cresceri, 2016).

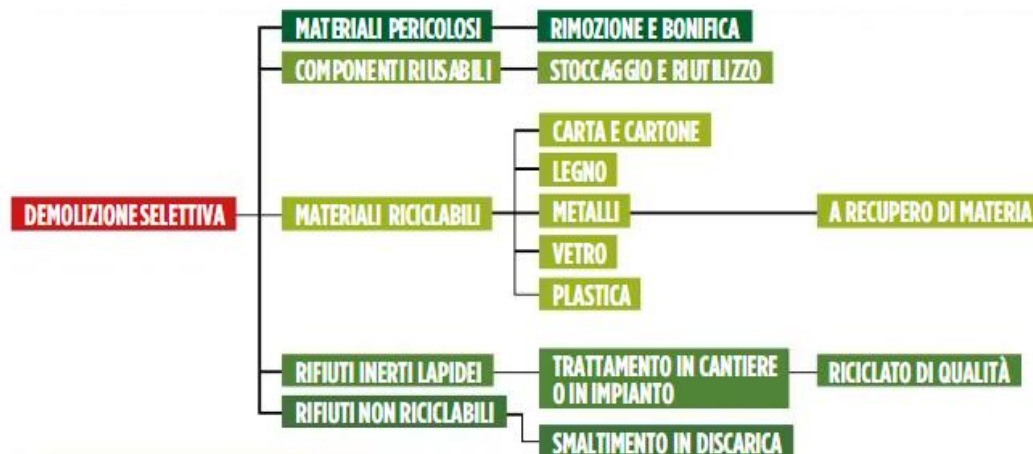


Fig. 1.9 Il processo di demolizione

1.6.3 Design for Deconstruction e il design for reuse and recovery.

Nel caso in cui invece ci si trovi a dover progettare un nuovo edificio o una nuova infrastruttura per minimizzare la formazione di rifiuti si può mettere in atto quello che viene chiamato *Design for Deconstruction* o il *Design for Reuse and Recovery*.

Questa “*sfida tecnologica*”, come la definisce P. Altamura in “Costruire a zero rifiuti”, si concentra su due aspetti: la decostruzione e il riutilizzo in nuove costruzioni dei componenti che costituiscono il patrimonio edilizio esistente. Inoltre, il progetto deve essere finalizzato alla decostruibilità, a livello di elemento tecnico e dell’edificio nel suo insieme, con l’obiettivo di prevenire la produzione di rifiuti in fase di manutenzione e di dismissione. È richiesta la necessità di anticipare il più possibile la scelta dei materiali da costruzione nel percorso progettuale anche a partire dai materiali disponibili in loco: presenti nell’edificio pre-esistente, demolito o meno, ma anche derivati da altre filiere locali.

Ovviamente, la progettazione e i materiali utilizzati richiedono un importante livello di innovazione nel processo edilizio e nelle soluzioni tecnologiche per permettere di realizzare edifici a zero rifiuti garantendo un ciclo chiuso dei materiali.

1.6.4 Trattamento della frazione inerte: impianti fissi e mobili

La componente merceologica media¹ dei rifiuti che derivano dalle attività di costruzione, demolizione e scavo in Italia sono costituiti dalla frazione inerte:

- 75-85% di laterizi e calcestruzzo, con valori inferiori negli interventi di ristrutturazione, nei quali si produce quasi esclusivamente laterizio (rifacimenti di tetti, spostamento di muri divisorii interni, etc.) e maggiori per le demolizioni, nelle quali il calcestruzzo uguaglia i laterizi:
- 4-8% di plastica, legno, carta e cartoni;
- 3-7% di metalli
- 8-10% di sabbia, gesso e terre da scavo.

Dopo il deposito temporaneo in cantiere, gli scarti devono essere conferiti a soggetti autorizzati allo smaltimento, presso impianti di stoccaggio autorizzato per il successivo conferimento in discarica per rifiuti inerti se non si considera la possibilità di recupero e riutilizzo. In tal caso, ci si avvale di impianti di frantumazione e selezione del materiale, che possono essere sia fissi che mobili, e di processi di valorizzazione dove è possibile trasformare questi rifiuti in materie prime secondarie per l'edilizia e re-inserirli nel mercato contribuendo, in tal modo, a chiudere il ciclo delle risorse minerali naturali.

La lavorazione dei materiali inerti provenienti da attività edili per la produzione di aggregati riciclati può essere effettuata mediante due tipologie di impianti: i gruppi mobili di frantumazione, ovvero su mezzi cingolati alimentati da motori a gasolio ed impianti fissi di trattamento per il riutilizzo, alimentati ad energia elettrica.

Gli impianti fissi devono essere autorizzati dalla Provincia in procedura semplificata per i rifiuti da C&D, e in procedura ordinaria (con VIA) se si superano le 100 tonnellate al giorno.

Oltre agli impianti fissi utilizzati per la valorizzazione delle macerie in un'attività estrattiva di cava, ne esistono altre anche per il recupero dei rifiuti inerti provenienti da demolizioni e costruzioni, che possono essere ubicati in posizioni strategiche rispetto a centri di produzione per avere un impatto inferiore nei costi di trasporto per le aziende del settore. Per questo motivo tipicamente un impianto fisso vedrà conferimenti di rifiuti da C&D da distanze generalmente non superiori ai 30 km e da parte di imprese insediate sul territorio che abitualmente conferiscono. Il tipico conferimento in impianto fisso è

¹ Composizione merceologica rifiuti da C&D in Emilia-Romagna, assunta come media italiana come riportato dal Piano Quadro Rifiuti Inerti della Regione Campania.

relativo a operazioni di demolizione o di scavo di dimensioni non tali da giustificare economicamente l'autorizzazione, il trasporto e l'esercizio di un impianto mobile.

Gli impianti fissi sono costituiti da strutture stazionarie, lo svantaggio della mancata mobilità è però compensata da un migliore livello qualitativo dei prodotti e ad un più efficace controllo su polveri e rumore. Infatti, nel momento in cui non viene praticata la demolizione selettiva, gli impianti fissi sono dotati anche di apparecchiature in grado di separare i materiali non inerti come i metalli e le frazioni leggere, come la carta, la plastica o il legno, ovvero tutti quei materiali che potrebbero compromettere la qualità dell'aggregato riciclato e che possono essere valorizzati rientrando nelle filiere di competenza

Il processo di produzione ed i relativi prodotti di recupero, sono esclusivamente quelli autorizzati dal procedimento "ad hoc" per singola domanda/impianto (il cosiddetto "caso per caso" introdotto dalle Direttive europee sui rifiuti). La procedura semplificata garantisce il raggiungimento della cosiddetta "end of waste", ma è molto rigida: il processo di recupero deve essere effettuato solo ed esclusivamente nelle modalità prescritte dalla norma, sui rifiuti elencati nel Decreto ed i prodotti in uscita possono essere impiegati solo nei settori elencati sempre nella norma.

Per quanto riguarda gli impianti mobili, a differenza degli altri, hanno la peculiarità di operare direttamente presso il cantiere e di essere installati in un sito per effettuare campagne di attività di durata limitata nel tempo. Questi impianti devono essere autorizzati dalla Regione (o dalla Provincia se delegata) ove l'interessato ha sede legale (Altamura P. , 2015).

Tale scelta operativa è idonea per lavorazioni di materiali provenienti da grandi demolizioni, da attività di riconversione e riqualificazione di aree dove è conveniente operare direttamente presso il cantiere, evitando la movimentazione dei materiali di risulta o da demolizione. Così si può beneficiare di una drastica riduzione dei costi di trasporto, fattore determinante per l'economicità di produzione di materiali "poveri" quali gli inerti da costruzione.

Nello specifico, questi impianti di trattamento hanno la possibilità di macinare contemporaneamente alla fase di demolizione in modo che gli aggregati prodotti possano essere riutilizzati all'interno dello stesso cantiere, senza costi di trasporto, stoccaggio e gestione, nessun impatto ambientale e con un risparmio anche economico sull'acquisto di nuovi inerti.

Generalmente gli impianti mobili effettuano esclusivamente riduzione volumetrica e separazione delle frazioni estranee, per cui il materiale risultante resta rifiuto e gli aggregati riciclati ottenuti sono di granulometrie grossolane e spesso hanno le caratteristiche per essere impiegati solo per ripristini ambientali, negli strati che formano il corpo del rilevato stradale e nei sottofondi stradali o di piazzali (Borghi, 2016).

Ciò a meno che non si riesca a soddisfare, già attraverso tale lavorazione, le caratteristiche previste per la corrispondente materia prima secondaria, il che può avvenire solo se un rifiuto è stato già fortemente selezionato a monte della frantumazione. Ad esempio, il calcestruzzo armato ottenuto con demolizione selettiva, quindi privo di contaminanti, se viene frantumato e, successivamente, ne viene estratto il tondino in ferro manualmente, può essere direttamente già impiegato come materiale primo secondario.

In generale, terminata la fase di frantumazione ed ottenuto il prodotto finale nelle diverse granulometrie, il materiale riciclato, dopo le analisi di conformità per la verifica dei requisiti di materie prime secondarie, viene disposto in cumuli, pronto per uscire dall'impianto ed essere avviato agli impieghi previsti.

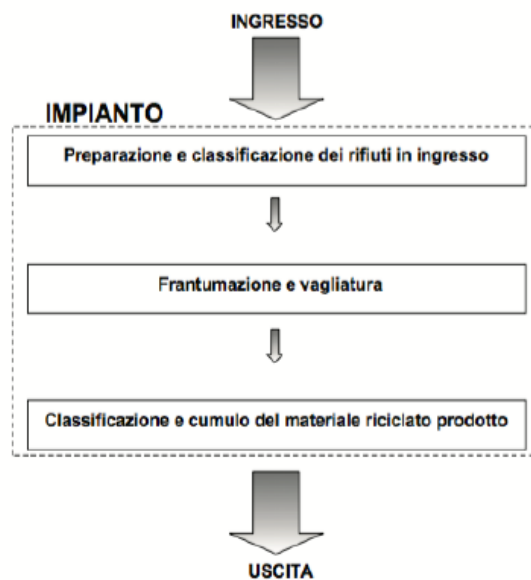


Fig.1.10 Fasi principali della lavorazione del rifiuto inerte per la produzione di aggregati riciclati

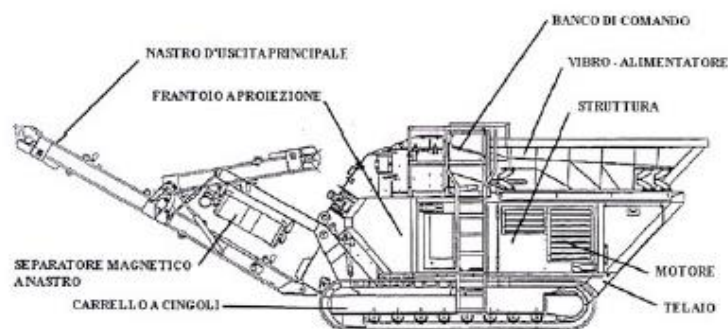


Fig.1.11 Impianto mobile per il trattamento di inerti in cantiere

(Fonte: <http://rinacsrl.com/processo.php> (05/13))

Secondo le stime di ANPAR, tra tutte le granulometrie, lo stabilizzato, ovvero l'aggregato riciclato in frazione unica ottenuto dai C&D misti, è il principale materiale riciclato prodotto e commercializzato in Italia.

A seconda della granulometria ottenuta, gli aggregati possono avere differenti impieghi e in base a questi possono essere suddivisi in differenti categorie:

- applicazioni non legate, dove l'aggregato è utilizzato sciolto (costruzioni stradali, massicciate ferroviarie, etc.);
- applicazioni legate, dove la miscela contiene un agente legante, come il cemento, il bitume o una sostanza che ha proprietà leganti a contatto con l'acqua, come il cemento (calcestruzzi, malte, etc.)
- Utilizzati nelle opere di stabilizzazione in cantiere

(ANPAR, Gli aggregati riciclati nelle opere pubbliche e private: le opportunità tecniche ed economiche , ottobre 2018).

In Italia l'impiego di aggregati riciclati è assai limitato, tant'è che viene utilizzato principalmente nel settore della costruzione e della manutenzione delle strade e delle ferrovie, per la realizzazione di sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali e di piazzali, civili e industriali; per la realizzazione di strati di fondazione delle infrastrutture di trasporto; per la realizzazione di strati accessori (aventi funzione anticapillare antigelo, drenante, etc.). Al contrario, altri Paesi europei sfruttano già questo materiale per scopi ben più nobili come ad esempio il confezionamento di calcestruzzi.

Questo è causato, come chiarito dal dott. P. Barbieri, Presidente di ANPAR e titolare dell'impianto di trattamento Ecologica 200 di Roma, dalla diffidenza dei costruttori e

dei progettisti nei confronti degli aggregati riciclati, che porta ad una limitata produzione ed utilizzo, anche quando essi sono certificati e garantiti e dalla presenza di una normativa nazionale molto complessa e molto spesso non adeguata a favorire un maggiore utilizzo degli aggregati riciclati.

Infatti, nonostante le diverse norme legislative nazionali e regionali che sollecitano o addirittura obbligano all'impiego degli aggregati riciclati, la maggior parte delle amministrazioni pubbliche non ricorre al loro impiego, sia per la carenza di personale tecnico aggiornato sull'argomento, sia a causa della complessità della normativa stessa. Quest'ultimo problema ha fatto sì che molti operatori del settore abusassero della normativa, alimentando ulteriormente il pregiudizio nei confronti dei materiali da recupero. A causa di tutto ciò in Italia si è registrato un ritardo nella diffusione a larga scala degli aggregati riciclati, rispetto ad altri paesi come Olanda, Belgio e Danimarca in cui la percentuale di materiale riciclato raggiunge anche il 90% della produzione dei rifiuti da C&D.

Questo contesto appare molto grave se si considera che, in alcune applicazioni, gli aggregati riciclati prodotti attualmente possiedono caratteristiche prestazionali equiparabili o superiori a quelli degli aggregati di cava o di fiume in quanto posseggono tracce di materiali leganti. Questi, per l'impiego in opere stradali, rendono più performanti i sottofondi stradali, migliorando le caratteristiche di rigidità e portanza del rilevato.

1.6.5 La tecnologia R.O.S.E.

Come già detto, la qualità dell'aggregato riciclato ottenuto è funzione della qualità dei rifiuti che entrano all'interno dell'impianto e del controllo del processo e delle tecnologie di trattamento. Per questo, diversi centri di ricerca europei si stanno concentrando sullo sviluppo di diverse tecnologie di trattamento innovative che valorizzano al massimo la componente inerte dei rifiuti da C&D.

In Italia la tecnologia che ha avuto successo nella produzione di aggregati riciclati prende il nome di R.O.S.E. (Recupero Omogeneizzato Scarti Edilizi), promossa dall'Enea, per il trattamento dei rifiuti speciali non pericolosi di natura inerte. Questo è un impianto fisso di trattamento dei rifiuti C&D che nasce a livello sperimentale tra il 1988 e il 1989 con l'obiettivo di ottenere un contenuto sfruttamento dei giacimenti di materiali lapidei naturali, attraverso un processo con un minimo consumo energetico,

contenute emissioni di polveri in atmosfera e ridotto carico acustico. Il tutto ponendo anche attenzione alla salute e alla sicurezza dei lavoratori dell'impianto. La tecnologia innovativa del progetto R.O.S.E. è riconducibile alla conversione di una utilità negativa, considerata come rifiuto di origine edilizia da smaltire ordinariamente in discarica, in un'utilità positiva, come aggregato riciclato, reinseribile nello stesso ciclo di provenienza. Permette di ottenere aggregati riciclati di buona qualità come il granulato o l'inerte che possono essere reimpiegati per produrre nuovo calcestruzzo a bassa o alta resistenza o per il rinfianco dei tubi e sottofondi stradali, con un alto livello di separazione tra le varie frazioni, anche in composizioni eterogenee di rifiuti in entrata (Longo, 2007).

L'impianto è costituito da una tramoggia, un frantoio e vari selezionatori. I rifiuti in ingresso vengono sottoposti ad un primo controllo di qualità per verificarne l'ammissibilità tecnico-normativa all'impianto. Dopo di che i materiali vengono suddivisi in sei macro-classi: materiali inerti puliti, materiali inerti misti di scavo, terra mista a limo e argilla, terra sporca non riutilizzabile, terra vegetale e calcestruzzo.

Il materiale viene dunque scaricato in una zona attrezzata e sufficientemente grande da permettere la ripartizione del materiale in ingresso in cumuli di residui omogenei per lo stoccaggio provvisorio. Sinteticamente le fasi che caratterizzano il processo sono:

- Stoccaggio temporaneo ed alimentazione dell'impianto;
- Secondo controllo di qualità;
- Gruppo di sgrossatura e frantumazione attraverso una camera di frantumazione del mulino a martelli per la riduzione granulometrica dei detriti ed il distacco delle armature metalliche dal calcestruzzo;
- Deferrizzazione;
- Selezione attraverso il vibrovaglio e alla separazione in automatico per differente peso specifico delle frazioni leggere non idonee.



Fig. 1.12 Impianto fisso con applicazione della tecnologia ROSE in Località Albinatico-Ponte Buggianese

Possiamo definire gli impianti di trattamento ROSE come una delle *best practice* nel contesto italiano, ma, come è descritto nel manuale “Costruire a zero rifiuti” (Altamura P.), attualmente la crisi che ha duramente colpito l’edilizia, insieme all’aumento dei costi di approvvigionamento energetico e dei carburanti, ha fatto sì che la R.O.S.E. ENGINEERING sia stata costretta a mettere a punto una nuova tecnologia mobile denominato R.O.S.E. POCKET SIZE.

Quest’ultima risponde alla necessità di una nuova configurazione minimale in termini di ingombri, che mantiene le peculiarità del R.O.S.E. permettendo però la lavorazione dei detriti direttamente in cantiere. L’impianto è trasportabile su gomma e permette di trattare anche ingenti quantità di materiale destinate al rimpiego in loco. Rispetto ai tradizionali impianti di trattamento mobili, che offrono limitate garanzie in termini di qualità del prodotto riciclato a causa della difficoltà della separazione della frazione estranea, il R.O.S.E. Pocket size offre le stesse prestazioni di un impianto fisso, fornendo un elevato grado di pulizia dei materiali ed un efficiente recupero della frazione metallica, oltre a produrre minori emissioni di particolato e rumori.



Fig. 1.13 Schema del nuovo impianto mobile con tecnologia R.O.S.E.

1.6.6 Requisiti normativi per l'utilizzo dell'aggregato riciclato e le Norme Tecniche per le Costruzioni

La normativa tecnica nazionale permette il confezionamento di calcestruzzo con aggregati riciclati. Per calcestruzzi strutturali la percentuale massima consentita di aggregati riciclati ed il numero e la tipologia dei controlli da effettuare sui materiali, ne rendono di fatto molto difficile l'impiego. Diverso è il caso dei calcestruzzi a bassa resistenza, nel quale gli aggregati riciclati devono essere conformi alla norma armonizzata UNI EN 12620:2008 per il confezionamento di calcestruzzi con classe di resistenza $R_{ck} \leq 15$ MPa, secondo le indicazioni della norma UNI 8520-2:2005, fornendo, quindi, anche indicazioni sulla classe di resistenza del prodotto (ANPAR, Gli aggregati riciclati nelle opere pubbliche e private: le opportunità tecniche ed economiche, ottobre 2018).

Ovviamente questi prodotti per essere utilizzati devono rispondere ai requisiti di accettazione previsti dalle norme vigenti in materia tecnica, ambientale e di idoneità all'utilizzo, in base al tipo di prodotto e destinazione. Per quanto riguarda le norme tecniche, ci si deve accertare di un insieme di requisiti geometrici, geotecnici, fisici, chimici e di durabilità, per definire le caratteristiche tecniche e prestazionali di un prodotto. Passando alle norme ambientali, l'impiego degli aggregati riciclati è subordinato alla verifica di conformità in merito alla natura dei materiali. Deve essere verificata l'assenza di sostanze pericolose e che le impurità presenti e il rilascio di potenziali sostanze inquinanti siano inferiori ai limiti stabiliti dalle norme per gli utilizzi specifici. Senza di questa non sarebbe possibile apportare la marcatura CE e la conseguente riammissione nel mercato del materiale, come prevede il Regolamento (UE) 305/2011, che prescrive e regola la procedura di marcatura CE e aggiorna la Direttiva Prodotti da Costruzione (CPD89/106/CEE) e i Decreti attuativi correlati (dell'Ambiente, 2011).

Il marchio CE non è né un marchio di qualità, né di un marchio di origine. Chiunque in Italia produca aggregati e li immetta sul mercato è obbligato ad apporre la marcatura CE in relazione alla destinazione d'uso del prodotto.

Dopo 10 anni dall'emanazione delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 (NTC 2008) sono state definitivamente emanate le nuove **Norme Tecniche per le Costruzioni** (D.M. 17 gennaio 2018). Esse forniscono i criteri generali di sicurezza,

precisano le azioni da utilizzare nel progetto, nonché le caratteristiche dei materiali e dei prodotti per l'utilizzo nel settore delle costruzioni.

Ma le novità più interessanti che riguardano gli aggregati riciclati le troviamo nel paragrafo 11.2.9.2 del D.M. 17 gennaio 2018, dove sono descritte le modalità di utilizzo degli aggregati grossi provenienti da riciclo in funzione della classe di resistenza del calcestruzzo da confezionare e della percentuale massima di impiego.

Grazie a questo aggiornamento i Criteri Ambientali Minimi per l'Edilizia (CAM Edilizia) diventano finalmente pienamente applicabili in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni. Prima dell'emanazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni non era consentito confezionare un calcestruzzo di classe di resistenza C32/40 contenente aggregati riciclati rendendo difficile rispettare il requisito dei CAM che prevede un contenuto di materiale riciclato (sul secco) di almeno il 5% sul peso del prodotto (inteso come somma delle singole componenti). Oggi è possibile confezionare un calcestruzzo di classe di resistenza C45/55 con al massimo il 20% di aggregati grossi provenienti da riciclo e con il requisito che più del 90% dell'aggregato riciclato deve essere composto di frammenti di calcestruzzo. La vera sfida che le norme richiedono al mercato degli aggregati riciclati è quindi la predisposizione di una o più frazioni granulometriche di solo calcestruzzo frantumato utilizzabili nelle miscele di calcestruzzo. Questo si traduce, per i produttori di aggregati riciclati, nel rendere disponibile sul mercato granulometrie ad esempio 8/32 ovvero 8/16 e 16/32 di solo calcestruzzo frantumato marcate CE con sistema 2+² (M.DE VINCENTIIS, 2018).

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	percentuale di impiego
Demolizioni di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%
Demolizioni di solo calcestruzzo e c.a.	< C30/37	< 30%
	≤ C20/25	fino al 60%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	≤ C45/55	fino al 15%
da calcestruzzi > C45/55	Stessa classe del calcestruzzo di origine	fino al 5%

Tab. 1.3 Massima percentuale di sostituzione di aggregato con aggregato riciclato, in base all'origine del materiale da riciclo, alla classe del cls. Riferiti ai CAM, (D.M. 17 gennaio 2018)

² in conformità alla norma armonizzata EN 12620 e accompagnate da una asserzione ambientale auto dichiarata in conformità alla norma ISO 14021.

Da un punto di vista generale, esaminando le norme europee e nazionali, appare evidente la volontà di rendere premiante l'impiego di aggregati riciclati con l'auspicio che, messo in moto tale meccanismo, sia il mercato stesso ad alimentarlo, conducendo il mondo del calcestruzzo e quello delle costruzioni in generale verso un uso sostenibile delle risorse naturali, formando coscienze e promuovendo la ricerca. Anche da un punto di vista occupazionale tutto ciò potrebbe rivelarsi proficuo poiché significherebbe dare l'impulso alla creazione di nuove figure professionali ed allo sviluppo di nuove tecnologie.

1.7 Caso studio Trieste

1.7.1 Aree dismesse

Con area dismessa, intendiamo quegli spazi o quei contenitori che non sono più utilizzati per le attività per le quali sono stati pensati e realizzati, e che sono in attesa di utilizzazioni.

Queste zone sono spesso percepite negativamente dalla popolazione, che le considera zone degradate e per la presenza di strutture poco stabili che risultano fatiscenti, mettendo a rischio l'incolumità degli abitanti. Questi aspetti sono negativi anche dal punto di vista ambientale poiché l'abbandono delle originarie attività si accosta al probabile abbandono di materiali ed alla presenza di sostanze inquinanti, con potenziali effetti di contaminazione delle acque di falda, del sottosuolo e del suolo.

Dal punto di vista urbanistico, il mancato recupero di queste aree conduce ad una crescita della periferia a scapito delle aree verdi circostanti, aumentando l'occupazione del suolo.

Fortunatamente, già dagli anni Novanta, queste aree iniziano ad essere indispensabili per lo sviluppo della città in quanto vengono considerate come una vera e propria risorsa da poter sfruttare e trasformare, e da utilizzare come rilancio urbano (Paesaggio IX).

Le potenzialità delle aree dismesse sono quindi da un lato storicamente condizionate dagli oneri economici dei progetti di bonifica, dall'altro necessitano di essere legate alle istanze di sostenibilità ambientale degli interventi ed all'innalzamento degli standard di qualità urbana in città.

È importante anche considerare che, a fronte di una continua richiesta di spazi per la residenza, per i servizi e le attività commerciali, la presenza di aree dismesse rappresenta una risorsa essenziale per la localizzazione dei nuovi progetti di trasformazione, favoriti anche dalla buona accessibilità ai nodi della rete infrastrutturale e dalla presenza di opere di urbanizzazione. Lo sfruttamento di un'ingente risorsa di spazi che possono essere riutilizzati contribuisce, inoltre, a limitare il consumo di suolo quale risorsa primaria, obiettivo base della pianificazione urbanistica comunale (VAS_RA_All2 Quadro di riferimento territoriale e ambientale).

1.7.2 Le aree portuali dismesse ed il porto vecchio di Trieste

Il tema delle aree dismesse assume una specifica valenza nelle città di mare dove il porto è elemento primario della storia urbana e, allo stesso tempo, luogo della dismissione produttiva. Le città di mare nascono e si sviluppano attorno al porto che ne induce la morfologia e l'identità marittima. Il porto è parte integrante della città storica: le banchine erano il luogo degli scambi commerciali e delle relazioni umane. Città e porto coincidono, sul piano funzionale e identitario, fino alla seconda metà del '900 quando l'evoluzione del trasporto marittimo causa la specializzazione e la separazione del porto dalla città. Il passaggio successivo è la delocalizzazione, in tutto o in parte, delle funzioni portuali, abbandonando al degrado ambiti urbani storici e architetture di grande qualità. Le aree portuali dismesse hanno un forte valore storico-identitario e richiedono uno specifico approccio sia nella fase conoscitiva sia nella proposizione progettuale.

In questo contesto si colloca il Porto Vecchio di Trieste, che occupa un'area estesa per 66 ettari sulla parte settentrionale del *waterfront* della città giuliana, estendendosi dallo sbocco del Canale di Ponte Rosso all'area di Barcola e si sviluppa in un susseguirsi di grandi volumi edilizi, originariamente adibiti a magazzino o deposito per le merci in transito in regime di Punto Franco, la cui maggioranza risale alla fine del XIX Secolo. Questo rappresenta un esempio di architettura afferente all'archeologia industriale di grande interesse culturale e storico.



Fig. 1.14 Immagine del Porto Vecchio di Trieste

Il Porto Vecchio di Trieste fu costruito per volontà dell'Impero Austro-ungarico tra il 1868 e il 1887 dopo una ampia fase progettuale che ebbe origine da un concorso bandito dal Governo di Vienna nel 1863.

L'area comprende 5 moli (0; I; II; III e IV), 3.100 metri di banchine, 23 grandi edifici tra hangar, magazzini ed altre strutture è protetto da una diga foranea ed è collegato con la vecchia ferrovia (1857).

A seguito del primo conflitto mondiale, il conseguente passaggio dell'area triestina al Regno d'Italia comportò una trasformazione radicale nella portualità triestina: il Porto di Trieste, da porto unico dell'Austria, divenne uno dei tanti scali portuali italiani.

La posizione geografica del Porto Vecchio può essere efficacemente rappresentata nella carta geografica di seguito rappresentata.

Trieste
Il contesto europeo



Fig.1.15 Il ruolo centrale di Trieste nel contesto europeo (Fonte: sito Comune di Trieste-Porto Vecchio)

Nel corso degli anni le attività principali del Porto di Trieste hanno subito un decentramento nella zona Est della città, così che il Porto Vecchio risulta oggi svuotato dalle funzioni originarie. Anche se i segni di abbandono sono evidenti su gran parte degli edifici, con l'eccezione dell'area compresa tra il Molo II e Molo III, dove si colloca l'Adriaterminal che costituisce la sola infrastruttura operativa del Porto Vecchio, questo conserva ancora le testimonianze della sua grandezza imperiale ed alcune architetture straordinarie



Fig.1.16 Immagine della parte interna dell'edificio del Porto Vecchio di Trieste preso in esame

Le ipotesi di recupero e riuso dell'area, sviluppate tra l'inizio degli anni '70 e la fine degli anni '80, consideravano un impiego parziale degli edifici, la demolizione dei più vetusti e la conseguente realizzazione di nuovi complessi edilizi. Le proposte progettuali spesso non consideravano adeguatamente il valore storico-architettonico del sito, solo recentemente, attraverso l'attenzione degli storici e degli organi di tutela per il Porto Vecchio, si sono ottenute le predisposizioni per adeguati strumenti urbanistici ed operativi necessari alla riqualificazione edilizia ed urbanistica.

Nel 2005, su incarico dell'Autorità Portuale, l'ing Ondina Barduzzi redige la Variante al Piano Regolatore del Porto Vecchio, parte integrante del Piano Regolatore Generale Comunale e del Piano Regolatore del Porto.

Nella relazione contenuta nel PR, si evidenzia come il “Punto Franco Vecchio” risulti non adatto al traffico odierno delle navi da carico, gli edifici presenti obsoleti, e la gran parte di questi sia sottoposta a vincoli architettonici. Parimenti la riqualificazione appare necessaria per il funzionamento ed il potenziamento dell’intero sistema portuale triestino e per inaugurare nell’area del Porto vecchio attività tipiche della *portualità allargata*. Queste attività comprendono, oltre alle funzioni strettamente portuali, anche attività economiche, direzionali, logistiche, di comunicazione, di formazione e ricerca, ricettive, ricreative, commerciali e di ristorazione, oltre ad attività di diporto, anche a carattere sportivo, e terminal traghetti (Barduzzi, 2006).

L’area del Porto Vecchio comprende differenti strutture portuali, magazzini, hangar e tutti quei macchinari necessari per svolgere le attività portuali e le funzioni commerciali dell’800 e del primo 900. Lo spazio è organizzato attraverso diversi settori separati da tre differenti corsi. Nel corso principale troviamo la vecchia casa di amministrazione, nel secondo corso sono conservati i magazzini ferroviari ed il terzo corso limitrofo alla linea ferroviari. Le tipologie edilizie dei magazzini e degli hangar, in origine 38 corpi di fabbrica, si possono tuttora distinguere secondo le necessità che dovevano soddisfare.

I progetti di riqualificazione presentano molteplici difficoltà in quanto sugli edifici e sulle infrastrutture originarie, sono attualmente vigenti vincoli architettonici e di salvaguardia. Anche la pianificazione urbanistica è di difficile gestione poiché, anche dopo la sdemanializzazione, sono presenti una pluralità di concessioni.

1.7.3 I progetti di riqualificazione

1.7.3.1 Il progetto Portocittà

Nel 2009 viene avviata l’iniziativa atta alla riqualificazione del Porto Vecchio. L’iniziativa è promossa da un gruppo di imprese di costruzione e di società finanziarie, riunite sotto la compagine sociale denominata Portocittà Spa.

Una serie di azioni rivolte all’ammodernamento e potenziamento delle infrastrutture portuali risultano comunque già avviati e portati a termine dall’Autorità Portuale di Trieste. Tra i principali interventi completati, o in corso di completamento, vi sono i seguenti:

- restauro del Magazzino 26
- restauro della Centrale Idrodinamica
- restauro della Sottostazione elettrica

- restauro del Magazzino 1 e potenziamento del Molo VI

Il problema delle concessioni si è rivelato uno dei principali motivi per cui il progetto Potocittà è naufragato. Tutta l'area del Porto Vecchio era all'interno del regime di Punto Franco, gestito direttamente dal demanio marittimo, i quali erano proprietari degli edifici presenti in esso. Questo ha impedito a molti investitori di impegnare risorse economiche sull'area in quanto poi avrebbero dovuto restituire i beni al termine della concessione. Questo limite è stato superato grazie ad un emendamento alla legge di stabilità italiana del 2015, che prevedeva la possibilità di spostare il regime di Punto Franco in altre aree della città, e quindi di restituire formalmente l'area del Porto Vecchio alla città di Trieste.

A seguito di questo, si sono riaperti i tavoli di pianificazione di linee guida strategiche per il recupero dell'area, ricercando investitori, anche internazionali, interessati alla riqualificazione della stessa. L'obiettivo è quello di trasformare un'area industriale dismessa in un *waterfront* operativo e degno di essere ritenuto interessante a livello europeo, come è avvenuto nelle aree portuali di Marsiglia, Valencia e Amburgo.

1.7.3.2 Linee guida strategiche, Ernest&Young

Le linee guida strategiche sono state elaborate dalla Ernest&Young, dopo essersi aggiudicata il titolo di *advisor* che si sarebbe occupato di realizzare il piano strategico per la valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste (Trieste, scelto l'advisor del Porto Vecchio: è Ernest&Young, 2016)

Il 26 maggio 2016 vengono presentati i primi risultati del lavoro dell'*advisor*, tramite il documento destinato alla consultazione pubblica "Linee guida strategiche. Valorizzazione del Porto Vecchio di Trieste. *Executive Summary*".



Fig. 1.16 Immagine che rappresenta gli obiettivi del progetto E&Y

(Fonte: Executiv Summery E&Y, “Redazione delle linee guida per l’impostazione di un piano strategico per la valorizzazione delle aree facenti parte del Porto Vecchio”, 2017)

All’interno delle linee guida si sottolinea l’importanza di come la valorizzazione dell’area del Porto Vecchio sia il progetto più importante per il rilancio della città di Trieste. Si sono analizzati tutti i fattori economici, urbanistici, sociali che determinano il progetto fino ad arrivare all’identificazione delle superfici edificate, classificandole e individuando gli interventi necessari per la loro valorizzazione e riutilizzo. È stato delineato, a ciascuna area del porto Vecchio e per ogni edificio, la modalità di accesso amministrative all’uso diretto o indiretto, a seguito dell’operazione di sdemanializzazione dell’area.

Si riprendono, quindi, le prescrizioni contenute nel nuovo PRG della Città di Trieste, evidenziando in particolare la zonizzazione e le destinazioni d’uso previste.

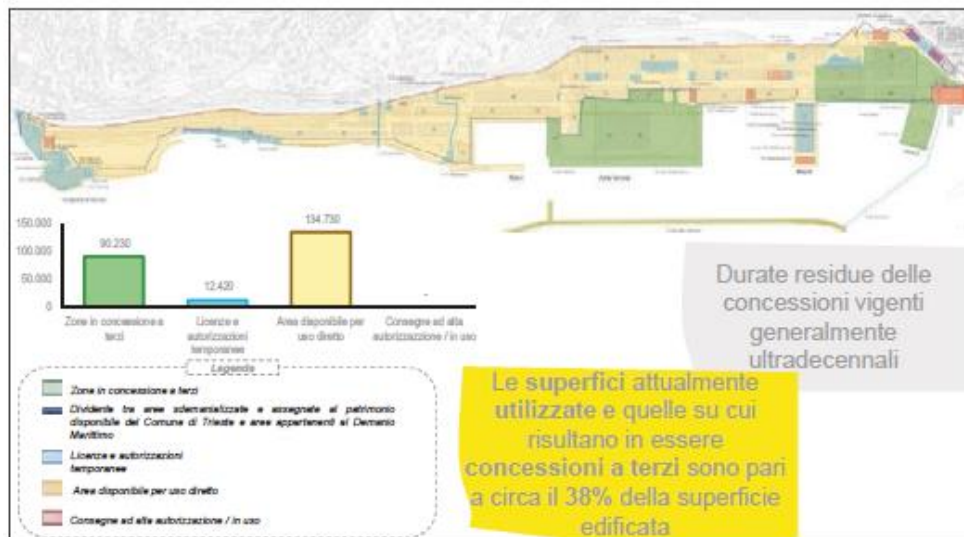


Fig.1.17 Immagine rappresentante le zone divise in base alla loro nuova allocazione nel progetto E&Y (Fonte: Executiv Summery E&Y, “Redazione delle linee guida per l’impostazione di un piano strategico per la valorizzazione delle aree facenti parte del Porto Vecchio”, 2017)

Lo studio prende anche in considerazione il regime vincolistico esistente, differenziando tra vincoli diretti, indiretti ed eventuali deroghe presenti, oltre le modalità di intervento previste, raggruppando tra risanamento conservativo, restauro e demolizione con ricostruzione.

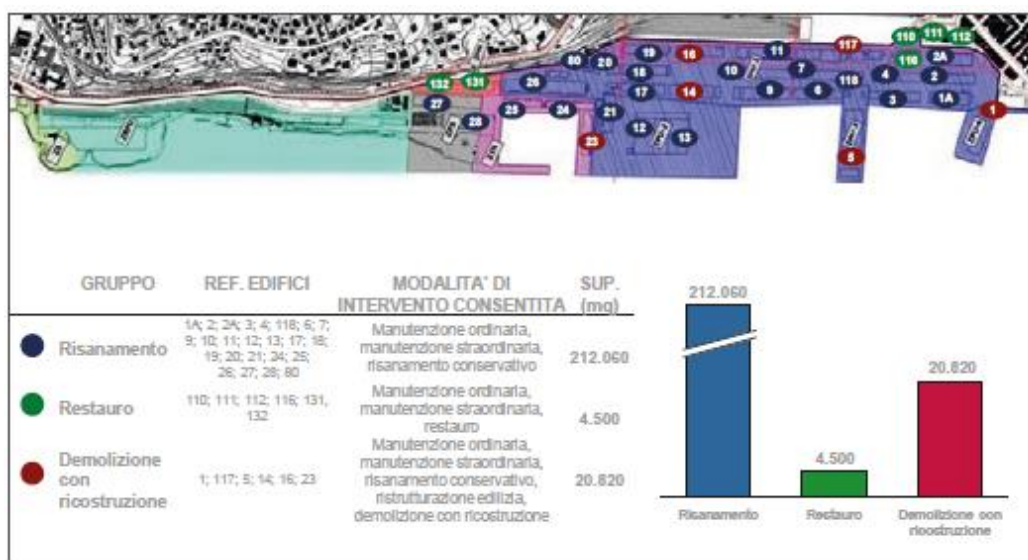


Fig. 1.18 Immagine rappresentante le attività di riqualificazione e recupero per ciascun edificio presente nell’area del Porto Vecchio di Trieste secondo il progetto E&Y (Fonte: Executiv Summery E&Y, “Redazione delle linee guida per l’impostazione di un piano strategico per la valorizzazione delle aree facenti parte del Porto Vecchio”, 2017)

Dall'analisi Ernest&Young risulta che la città di Trieste possa essere considerata posizionata sul panorama Smart City nazionale, e si evidenziano quali sono i settori in cui maggiormente investire. Di conseguenza la E&Y propone l'analisi di una serie di attività ed eventi attrattivi potenzialmente trainanti per lo sviluppo dell'area.

Successive proposte e analisi sono state fatte successivamente a questa, come ad esempio il nuovo masterplan dello Studio Foster & Partners in collaborazione con *Sistemica Works* i cui contenuti sono stati condivisi in progress con l'Autorità Portuale e con i principali attori, per arrivare all'individuazione e alla definizione di scenari possibili per lo sviluppo futuro nel breve, medio e lungo periodo. La proposta per il nuovo assetto del *waterfront*, condivisa con la città sulla base di idee innovative, previsioni insediative e programmi di intervento, permette di affrontare il mercato in un processo complesso e articolato che coinvolge pubblico e privato, locale e scala vasta, recupero e cambiamento, idee consolidate e nuove (Giovinazzi).

Da come possiamo comprendere dallo studio svolto da Nicola Strazza, Edino Valcovich e co., "Recupero e riqualificazione energetica del patrimonio edilizio nel porto vecchio di Trieste.", il filone di ricerca si è proposto di integrare all'interno di una piattaforma GIS, le informazioni sullo stato di fatto degli edifici del Porto Vecchio di Trieste, in modo da poter essere utilizzati dai progettisti nella fase di pianificazione di interventi di restauro e recupero degli edifici dell'area.

Questo rientra nella logica del nostro caso studio in quanto, a valle delle nostre valutazioni e analisi sul recupero dei materiali inerti prodotti dalla demolizione di un edificio dell'area del Porto Vecchio di Trieste, si potrebbero implementare nel data-base i dati ricavati relativi alle caratteristiche strutturali e geometriche dei vari edifici, in modo che si possano eseguire le valutazioni riguardo le migliori scelte per la demolizione e ricostruzione degli edifici soggetti. Nel caso più generale, si utilizzerebbero la combinazione di più data-set per valutare mediante procedimenti analitici diversi, gli effetti di ciascuna scelta, distinguendo sin da subito interventi specifici rispetto a interventi di recupero e riqualificazione degli edifici del Porto Vecchio di Trieste con caratteri di ripetibilità.

1.7.4 L'urban mining e casi studio

Con il passaggio all'economia circolare e grazie all'aumento delle quantità richieste di materie prime minerali e alla consapevolezza della loro limitata offerta di depositi

naturali, è emerso un concetto completamente nuovo chiamato *Urban mining* (Cossu et al., 2012a). L'estrazione mineraria urbana comprende attività e tecnologie sviluppate con l'intento di riciclare materie prime minerali ed energia da fonti cosiddette antropogeniche (prodotti, edifici, discariche). È possibile utilizzare la figura sottostante per comprendere chiaramente il collegamento che c'è tra l'attività mineraria classica e la gestione dei rifiuti nell'Urban Mining e i conseguenti benefici ambientali.

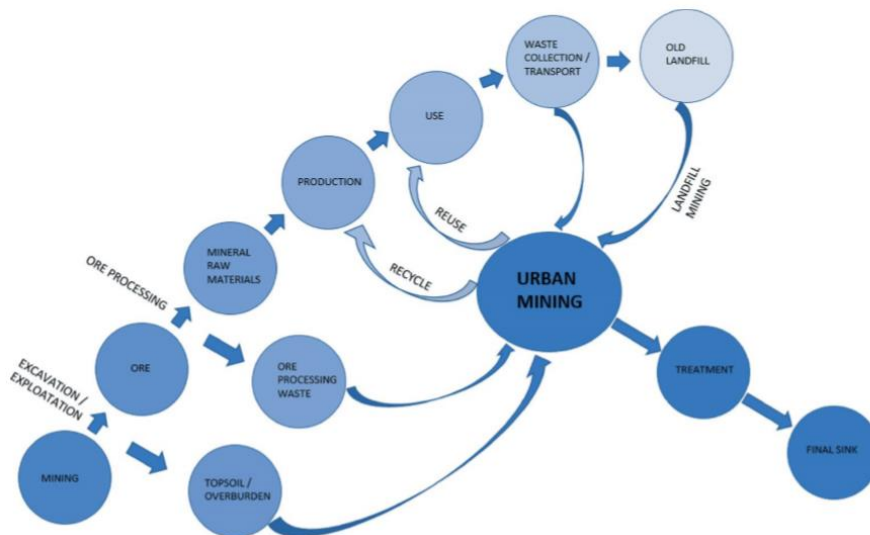


Fig. 1.19 Schema rappresentante il concetto di Urban Mining e ne descrive le fasi per chiudere il ciclo di vita dei materiali (Fonte: Urban Mining- New Concept, Cossu et al. 2012a, ISWA, 2014)

Per rientrare all'interno del concetto descritto, e dunque per quantificare e avere un quadro chiaro sulla quantità di materiale incorporato in una struttura o in più strutture che, a seguito delle operazioni di demolizione, diverrà rifiuto e conseguente risorsa potenzialmente utilizzabile, ci si può avvalere di dati catastali e del GIS.

Venire a conoscenza di quello che rappresenta lo stock di materiale di un'area è necessario per poter supportare decisioni progettuali e politiche o modelli economici. Questi possono essere utilizzati anche per capire quali strutture potrebbero contenere risorse utilizzabili o meno. Sfortunatamente, questi dati nella maggior parte dei casi restano vaghi e non specifici, non connessi con i dati storici degli edifici da cui questi derivano, il che rende anche il quadro generale vago ed incerto e ne concerne la flessibilità delle decisioni politiche ed economiche.

Per i singoli edifici, è possibile trovare gli specifici stock di materiale attraverso:

- 1) le informazioni sui materiali utilizzati per costruire gli edifici,

- 2) mediante l'analisi dei flussi dei rifiuti generati dopo la demolizione,
- 3) indagando sugli edifici prima della loro demolizione.

Utilizzando informazioni sui materiali che sono stati utilizzati per costruire edifici (metodo 1), spesso si trascura o sottovaluta i rinnovamenti e gli aggiornamenti tecnici durante la fase di utilizzo, che di solito aumentano la complessità dei materiali incorporati.

Per questo motivo, si presume che un'indagine di fine vita, fornisca dei risultati più accurati per quanto riguarda il patrimonio immobiliare caratteristico e quindi lo stock di quei materiali potenzialmente disponibili per un successivo riciclaggio.

Un altro modo di esaminare il patrimonio edilizio è quello di proiettare la quantità e la qualità dei rifiuti di costruzione e demolizione (C&D) dell'edificio e successivamente considerarlo come un futuro deposito di risorse antropogeniche per materie prime secondarie (Bergsdal H., 2007). Sono stati fatti molteplici studi sul focus del patrimonio edilizio, o stock, su una moltitudine di questioni, dai diversi materiali da costruzione, caratteristiche dell'edificio, considerazioni di scale diverse (città, paesi) e l'uso di set di dati diversi (ad es. dati statistici, set di dati GIS).

Nello studio portato avanti da Kleemann et al. (Kleemann F., 2017) le quantità di materiale specifico per le diverse categorie di edifici a Vienna sono state derivate da varie fonti come indagini dettagliate su casi studio (Kleemann, 2016) piani di costruzione di edifici nuovi e demoliti, dati sulla valutazione del ciclo di vita (LCA) di nuovi edifici, fatture finali e letteratura. Questi dati sono stati continuamente ampliati e sono utilizzati anche in questo studio per stimare (i) la materialità dei rifiuti generati attraverso la demolizione e (ii) il materiale immesso nello stock di edifici attraverso nuove attività di costruzione.

Tutti gli edifici a Vienna sono stati classificati in base ai dati del Sistema di informazione geografica (GIS) raccolti da diverse autorità municipali di Vienna e analizzati al fine di generare un set di dati coerente con informazioni su dimensioni, utilizzo e periodo di costruzione di ciascun edificio. La combinazione dei dati GIS con la materialità delle categorie di edifici ha permesso di mappare tutti i materiali da costruzione in un catasto di materiali.

Ci sono stati altri studi sulla generazione di CDW e sulla relativa disponibilità di materie prime secondarie, di solito incentrati sulle nazioni o sulle regioni.

Hashimoto et al. (Hashimoto, 2009) hanno esaminato i minerali da costruzione in Giappone e il relativo accumulo di rifiuti all'interno della società. Bergsdal et al.

(Bergsdal, 2007) hanno proiettato la generazione di CDW in Norvegia sulla base di ipotesi sulle attività nel settore delle costruzioni e della demolizione. De Melo et al. (De Melo, 2011) hanno valutato le opzioni di gestione di CDW nell'area metropolitana di Lisbona e hanno basato la loro quantificazione della generazione di CWD sull'attività di costruzione e trasporto. Solís-Guzmán et al. (Solís-Guzmán, 2009) hanno basato la loro stima del CDW in Spagna sulle quantità di rifiuti derivanti dalle fatture di 100 progetti residenziali esaminati. Huang et al. (Huang, 2013) hanno condotto un'indagine basata sull'MFA (*Material Flow Analysis*) sulla domanda di materiale e sull'impatto ambientale delle costruzioni in Cina, che ha riguardato anche la generazione di rifiuti solidi.

È chiaro come questi molteplici studi sono necessari per far comprendere che solo continuando ad implementare e diffondere queste nuove metodologie e concetti si può aumentare l'utilizzo di stock edilizi per soddisfare le richieste di materiali per il settore delle costruzioni e proporre dei modelli, schemi e comportamenti sperimentati con successo che possano essere ripetibili per costruire scenari di trasformazione, valorizzando le singole identità della città.

2. Il Life Cycle Assessment (LCA)

2.1 Concetto e storia

Il *Life Cycle Assessment* (LCA) è una metodologia che consiste nell'analisi del ciclo di vita di un prodotto, un processo o un'attività, al fine di quantificare i potenziali effetti prodotti sull'ambiente. Per ciclo di vita si intendono tutte le fasi (mostrate in figura 2.1) che vanno dall'estrazione e conversione delle materie prime, passando per la loro lavorazione e distribuzione, quindi all'uso o consumo, per arrivare al riciclo dei materiali, al recupero di energia e infine allo smaltimento finale.



Fig. 2.1 Fasi del ciclo di vita di un prodotto (Fonte: Consorzio Promos Ricerche)

Lo strumento dell'LCA fa parte di un approccio più ampio, denominato *Life Cycle Thinking* (LCT), il quale si pone l'obiettivo di identificare le opportunità di miglioramento di tutte le fasi del ciclo di vita di beni o servizi, in termini di impatti ambientali ridotti e maggior efficienza nell'uso delle risorse. La visione olistica del sistema produttivo permette di tenere in considerazione il contributo di ogni processo che concorre alla realizzazione della funzione per cui è stato progettato. Per agire in quest'ottica risulta importante la collaborazione lungo la catena del valore, in modo da condividere tutte le informazioni e le conoscenze necessarie per uno studio completo e dettagliato. Altro aspetto fondamentale in un approccio LCT è il fatto di evitare che gli impatti sull'ambiente siano trasferiti su altre fasi del ciclo di vita, su altri soggetti, su

altri comparti ambientali o su altre aree geografiche, nel tentativo di minimizzare quelli del sistema considerato in quel momento. Inoltre, la filosofia del *Life Cycle Thinking* è adottata dall'Unione Europea all'interno dell'approccio della Politica Integrata di Prodotto (IPP, Integrated Product Policy, s.d.) , che propone l'applicazione di una serie di azioni che favoriscono il miglioramento continuo delle performance ambientali dei prodotti lungo l'intero ciclo di vita. Di esso fanno parte, tra gli altri, le etichette ecologiche (Ecolabel, 2016) e gli acquisti verdi per le pubbliche amministrazioni (GPP, Green public procurement, 2017).

Le origini del *Life Cycle Assessment* risalgono agli anni '60 e '70 con la stesura dei primi bilanci energetici e di massa a causa di una crescente preoccupazione per la natura finita delle risorse fossili e per le ripercussioni sul clima dovute all'inquinamento globale. La relazione di Harold Smith alla *World Energy Conference* del 1963 rappresenta uno dei primi esempi di pubblicazione basati su questa metodologia e conteneva i calcoli relativi alle richieste di energia per la produzione di prodotti chimici (Ciambrone, 1997). Successivamente, verso la fine degli anni Settanta, furono pubblicati degli studi sui modelli globali in "*The Limits to Growth*" (Meadows D. H., 1972) che indagavano sui possibili effetti della crescente richiesta di materie prime non rinnovabili e di risorse energetiche, dovute all'aumento della popolazione. Il risultato fu l'applicazione di maggiori controlli sui consumi di energia e sulle emissioni a livello industriale. Nel 1969, l'azienda Coca-Cola commissionò uno studio ad un gruppo di ricercatori del *Midwest Research Institute* (MRI) per valutare e confrontare l'ecocompatibilità di diversi contenitori per bevande. Tale studio fu considerato come quello che gettò le basi dell'attuale metodologia e per la prima volta riguardò direttamente i prodotti e non più i singoli processi industriali, i quali, fino ad allora, rappresentavano il focus principale. Il processo di quantificazione delle quantità di risorse utilizzate in input e delle emissioni prodotte in output fu identificato col termine REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*) negli Stati Uniti, mentre col nome di *Econobalance* in Europa. Negli anni Ottanta, a seguito della diffusione di partiti politici ecologisti, i quali promuovevano l'impiego di pratiche industriali più sostenibili, e dell'incombenza a livello mondiale del problema della gestione dei rifiuti, le tecniche di analisi del ciclo di vita sono risultate essere lo strumento più adatto per la valutazione dei problemi ambientali. In quegli anni però era emerso un problema certamente non trascurabile: la mancanza di uno standard comune per i dati, i metodi e le terminologie usate. Spesso, infatti, dei calcoli effettuati sugli stessi prodotti davano

dei risultati contrastanti. Nel 1993, durante il congresso della SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2016) a *Smuggler Notch* nello stato del Vermont negli Stati Uniti, fu pubblicato il quadro di riferimento riconosciuto a livello internazionale e coniato il termine LCA. La definizione data dalla SETAC descrive l'LCA come “un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici e ambientali relativi a un prodotto/processo/attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto/processo/attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale”. Nel 1998, la SETAC creò una serie di linee guida che poi furono incluse nella norma ISO 14040. In particolare, le norme che ad oggi riguardano il *Life Cycle Assessment* sono due: ISO 14040:2006 (Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento) e ISO 14044:2006 (Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Requisiti e linee guida). Secondo la definizione di LCA presente nelle norme ISO 14040 (14040, 2006), esso consiste nella “compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto”.

2.2 La metodologia

Il *Life Cycle Assessment* è basato sulla compilazione, quantificazione e valutazione di tutti gli input e gli output, in termini di materiali ed energia, e degli impatti ambientali associati, attribuibili all'intero ciclo di vita di un prodotto, quindi dall'estrazione delle materie prime che lo compongono allo smaltimento finale di tutte le sue parti. Le ragioni per cui si applica tale metodologia possono essere diverse, l'LCA può infatti costituire un supporto per:

- l'identificazione delle opportunità di miglioramento delle performance ambientali dei prodotti nelle diverse fasi del ciclo di vita;
- le decisioni da parte delle organizzazioni private e pubbliche riguardanti, ad esempio, la pianificazione strategica o la progettazione di nuovi prodotti e processi;
- la scelta di indicatori chiave per il monitoraggio delle prestazioni ambientali;

- la commercializzazione dei prodotti, ad esempio per ottenere delle certificazioni ecologiche (come nel caso di Ecolabel).

Inoltre, sempre secondo le norme ISO 14040 e ISO 14044 (14040, 2006) uno studio LCA si compone di quattro fasi:

- Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (*Goal and Scope Definition*);
- Analisi dell'inventario (*Life Cycle Inventory – LCI*);
- Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*);
- Interpretazione dei risultati (*Interpretation*).

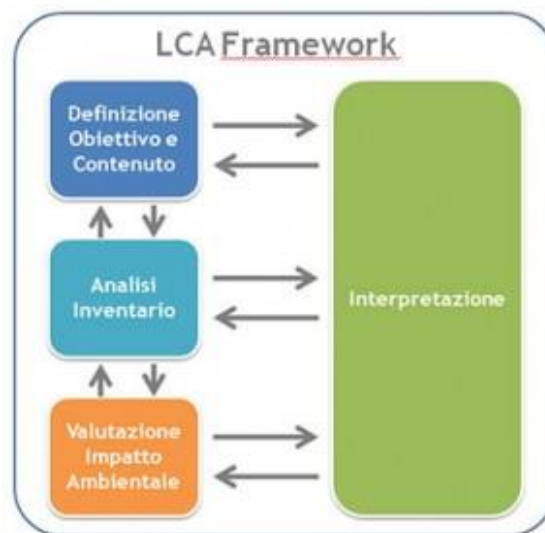


Fig.2.2 Schema delle 4 fasi dell'LCA (Fonte: ISO 2006)

2.2.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

La definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione rappresenta la fase preliminare di un LCA. L'obiettivo dello studio descrive: l'applicazione prevista, le motivazioni per cui esso viene effettuato, il tipo di pubblico a cui è rivolto e se i risultati saranno utilizzati per analisi comparative e se saranno resi pubblici. Il campo di applicazione delinea invece: il sistema prodotto considerato e le sue funzioni, l'unità funzionale, i confini del sistema, le procedure di allocazione, i requisiti di qualità dei dati, le assunzioni iniziali, le categorie di impatto scelte e il metodo di valutazione degli stessi.

Il sistema prodotto può essere inteso come un prodotto vero e proprio, come un processo o come un servizio e nella norma ISO 14040 (14040, 2006) è descritto come un “insieme elementare di unità di processo, connesse tra loro per quanto riguarda materia ed energia, che perseguono una o più funzioni definite”. Ogni unità di processo contiene al suo interno tutte le attività relative ad un’operazione o ad un insieme di operazioni ed è connessa alle altre unità tramite flussi intermedi ed in alcuni casi all’ambiente esterno, attraverso flussi elementari. Un flusso elementare costituisce un flusso di materia o energia che entra nel sistema direttamente dall’ambiente senza previa trasformazione da parte dell’uomo o un flusso di materia ed energia che esce dal sistema senza subire successive trasformazioni ad opera dell’uomo. Un flusso intermedio è un flusso non elementare, quindi va incontro a modificazioni per mano dell’uomo. L’unità funzionale rappresenta la quantificazione delle funzioni identificate del prodotto con l’obiettivo di ottenere un riferimento a cui correlare i flussi in uscita e in entrata. Essa assicura la comparabilità dei risultati dell’LCA, la quale può diventare critica nel caso siano messi a confronto due sistemi differenti, in quanto bisogna accertarsi che la comparazione sia fatta su basi comuni. Inoltre, è necessario identificare il flusso di riferimento che costituisce la quantità di prodotto necessaria a soddisfare la funzione scelta. Tutti gli input e gli output sono proporzionali al flusso di riferimento. I confini del sistema prodotto comprendono tutte le unità di processo da includere nello studio. Idealmente, i confini dovrebbero includere tutte quelle unità che permettono di avere solo dei flussi entranti ed uscenti dal sistema di tipo elementare. Inoltre, è possibile trascurare quei flussi che hanno poca rilevanza per gli scopi prefissati, giustificando la scelta nella fase preliminare di definizione di obiettivi e campo di applicazione. Essendo il *Life Cycle Assessment* una metodologia iterativa, dopo la fase di raccolta dei dati, potrebbe risultare necessario espandere o restringere i confini iniziali. A supporto di ciò, entrano in gioco le regole di *cut-off*, in modo da escludere nella fase di analisi di inventario quei flussi di materia o energia che non rispettano determinati parametri quali: una certa percentuale del contributo in massa o in energia sul totale oppure un adeguato livello di significatività degli impatti su una determinata categoria. In relazione ai confini del sistema scelti, uno studio LCA può essere definito in quattro modi differenti, mostrati nella figura 2.3 in basso:

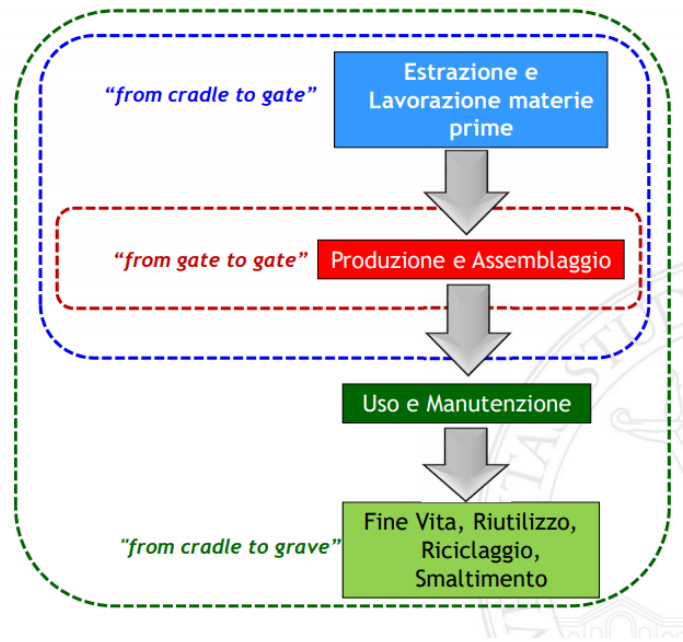


Fig.2.3 Confini del sistema (Fonte: Politecnico di Milano)

1. *"From cradle to grave"* (dalla culla alla tomba): tiene conto di tutte le fasi del ciclo di vita. L'unità funzionale esprime la quantificazione della funzione di un prodotto e viene spesso usata per confrontare prodotti che hanno la stessa funzione, in modo da indentificarne i possibili miglioramenti.
2. *"From cradle to gate"* (dalla culla al cancello): considera solamente la fase di estrazione delle materie prime e quella di produzione. Di solito, l'unità funzionale è definita in termini di unità di prodotto finito o di massa. Ciò permette il confronto di due processi produttivi che danno origine allo stesso tipo di prodotto, a partire da materie prime differenti oppure determinare delle ipotesi di miglioramento.
3. *"Gate to gate"* (dal cancello al cancello): prende in considerazione esclusivamente il processo produttivo, tralasciando dall'analisi sia le fasi precedenti (estrazione e trattamento delle materie prime) che successive (distribuzione, uso, fine vita). L'unità funzionale rappresenta l'unità di massa o di prodotto finito, come nel caso precedente. Questo tipo di studio dà la possibilità di confrontare due processi che generano prodotti dello stesso tipo a partire dalle stesse materie prime oppure di trovare nuovi punti di miglioramento.
4. *"Zero burden"*: tiene conto solamente delle fasi di fine vita e viene applicato ai sistemi di gestione dei rifiuti. L'obiettivo è quello di confrontare sistemi di smaltimento differenti e in questo caso si scelgono unità funzionali come: la

gestione di rifiuti per uno specifico territorio o determinate quantità e composizioni di una categoria specifica da smaltire.

I **requisiti di qualità dei dati** sono specificati nella fase preliminare di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione ed influenzano direttamente la qualità dei risultati dello studio. Tali requisiti interessano principalmente la copertura temporale, geografica e tecnologica, oltre ad altri fattori come la precisione, la completezza e l'accuratezza.

2.2.2 L'analisi dell'inventario (LCI)

L'analisi di inventario (LCI) si basa sulla raccolta dei dati e sui calcoli necessari per la quantificazione dei flussi in ingresso e in uscita dal sistema. Le informazioni utili per lo studio possono essere ottenute da misurazioni dirette (dati primari), da database ad-hoc (dati secondari) oppure dalla letteratura e da manuali (dati terziari). L'analisi di inventario si compone di tre sotto-fasi: la raccolta dei dati, l'elaborazione dei dati e l'allocazione. Nella prima sotto-fase si raggruppano i dati in base agli input di materie prime ed energia, ed alle emissioni in aria, acqua e suolo. Nella seconda sotto-fase, i dati sono validati e sono correlati al flusso di riferimento dell'unità funzionale. La terza sotto-fase consiste nell'attribuzione dei flussi entranti ed uscenti in relazione ai prodotti ed ai co-prodotti. L'allocazione risulta necessaria quando all'interno di un processo industriale si hanno più output e bisogna assegnare i contributi relativi a materiali, energia ed emissioni per ognuno di essi. La norma ISO 14040 (14040, 2006) consiglia di evitare l'allocazione ogni volta che sia possibile in due modi: o dividendo il processo in sotto-processi e raccogliendo dati specifici per ognuno di essi, o espandendo i confini del sistema in modo che funzioni aggiuntive legate ai co-prodotti siano considerate all'interno del sistema. Nei casi in cui non sia possibile, si ripartiscono gli input e gli output tra i differenti prodotti o funzioni seguendo: le relazioni fisiche tra essi o altri legami come ad esempio il valore economico. Tra i principi dell'LCA vi è l'approccio scientifico, quindi si privilegiano le prime.

2.2.3 Valutazione degli impatti ambientali (LCIA)

La valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA) ha l'obiettivo di quantificare gli impatti ambientali del sistema considerato. In altre parole, si misura l'entità delle ripercussioni sull'ambiente causate dalle emissioni generate e dalle risorse consumate

dall'attività produttiva. I risultati trovati possono portare a modifiche ed aggiornamenti nell'obiettivo e campo di applicazione dello studio. Secondo la normativa tecnica ISO 14040 (14040, 2006), questa fase si può dividere in quattro parti, due obbligatorie (classificazione e caratterizzazione) e due facoltative (normalizzazione e ponderazione). La prima parte include: la selezione delle categorie d'impatto in base alle specifiche problematiche ambientali da analizzare, la scelta di indicatori per ciascuna di esse e la scelta di un modello per la caratterizzazione. In genere, si preferisce utilizzare categorie conosciute e consolidate, per evitare di dover formulare delle ipotesi e in modo da facilitare la comparabilità con altri studi. Altri fattori considerati durante questa fase riguardano: la completezza, ovvero la scelta di tutte le categorie interessate dal sistema; l'indipendenza, cioè l'importanza di evitare intersezioni tra categorie che porterebbero a conteggi multipli; la praticità, cioè il numero delle categorie non deve risultare eccessivo. Altro elemento definito in questa parte è l'indicatore di categoria che rappresenta la quantificazione di una categoria d'impatto. Ne esistono di due tipi: *midpoint indicators*, che sono indicatori intermedi e si riferiscono ai singoli tipi di impatto, come ad esempio l'acidificazione; *endpoint indicators*, che si riferiscono al danno subito dal recettore finale, ad esempio l'uomo, e sono in forma aggregata. **La classificazione** consiste nell'assegnazione dei dati raccolti nella fase di inventario ad una o più categorie d'impatto. In base all'impatto ambientale associato, ogni dato ottenuto può essere assegnato ad uno o più categorie. **La caratterizzazione** consiste nella quantificazione di ogni indicatore per ciascuna categoria.

Tutti i dati ricavati nella fase di inventario sono convertiti in una unità di misura comune per ogni categoria d'impatto, attraverso l'uso di specifici fattori di caratterizzazione, ed aggregati in base alla loro appartenenza. Ad esempio, il metano ha un potenziale effetto serra pari a 25 kg di CO₂, ciò significa che un kg di metano ha un'incidenza sull'effetto serra pari a 25 kg di CO₂. L'impatto totale sull'effetto serra del prodotto analizzato sarà la sommatoria di tutti i contributi dei gas serra espressi in kg di CO₂ equivalenti. In questa fase si crea un "profilo ambientale", che consiste in una serie di valori numerici associati alle categorie d'impatto.

Nella maggior parte degli studi LCA sono considerate principalmente le seguenti categorie d'impatto (tra parentesi è indicata la sfera di influenza geografica):

- **Diminuzione delle risorse abiotiche e biotiche** (globale), tra le quali si distinguono, quelle a "flusso" (acqua, aria, etc.) e "stock" (combustibili fossili, minerali, etc.), e dipende dalla disponibilità fisica e dal grado di impiego.

- **Riscaldamento globale** (globale), a causa del cosiddetto “effetto serra”, il quale si genera per il fatto che alcuni gas atmosferici non sono trasparenti (quindi hanno buone capacità di assorbimento) alla radiazione infrarossa riemessa dal suolo terrestre, causando l’aumento della temperatura negli strati più bassi dell’atmosfera.
- **Impoverimento dell’ozono stratosferico** (globale), dovuto alla rottura delle molecole di ozono, i cui principali responsabili sono i clorofluorocarburi (CFC) e gli idroclorofluorocarburi (HCFC), che per azione della radiazione elettromagnetica nella stratosfera si scindono e liberano atomi di cloro i quali interagiscono con l’ozono, distruggendolo.
- **Acidificazione del suolo** (regionale), la quale è un fenomeno che si genera in seguito alla cessione al suolo di particolari composti (ossidi di azoto e zolfo) in grado di rilasciare protoni, ne consegue l’abbassamento del pH di terreni agricoli, falde acquifere, laghi e foreste, ma anche danni rilevanti su costruzioni e monumenti.
- **Formazione di smog fotochimico** (regionale), il quale costituisce una manifestazione dell’inquinamento atmosferico in ambiente urbano e suburbano, a causa di un miscuglio di inquinanti, fra i quali predominano gli ossidi di azoto, l’ozono, l’ossido di carbonio e idrocarburi, che si forma nella bassa atmosfera per azione della luce solare sulle emissioni derivanti delle attività umane.
- **Arricchimento in nutrienti** (regionale), o eutrofizzazione, causato dall’immissione nell’ambiente acquatico di grandi quantità di particolari sostanze (azoto e fosforo) contenute nelle acque di rifiuto e nei fertilizzanti utilizzati in agricoltura, per cui si sviluppano condizioni anaerobiche che si estendono costantemente in tutta la massa liquida provocando gravi sconvolgimenti nell’equilibrio biologico dell’ecosistema.
- **Tossicità umana** (locale), per la quale si intende l’esposizione dell’uomo a composti chimici e biologici nocivi per le cellule del suo corpo, ad esempio una sostanza altamente tossica per l’uomo è il monossido di carbonio (CO), che se respirato anche in piccole quantità si lega all’emoglobina formando un complesso detto carbossi-emoglobina.
- **Eco-tossicità** (locale), la quale interessa gli ecosistemi, sia acquatici che terrestri, esposti a sostanze chimiche e biologiche nocive.

- **Uso del territorio** (locale), il quale consiste nella degradazione del suolo (erosione, eventuali rischi di frane), nella lenta distruzione degli ecosistemi e nella perdita della qualità ambientale nei paesaggi.

Conclusa la parte obbligatoria di un LCA, secondo le norme ISO 14040 e ISO 14044 (14040, 2006) ha la possibilità di continuare lo studio con quella opzionale, che si compone di due fasi: la normalizzazione e la ponderazione. **La normalizzazione** permette di contestualizzare gli impatti secondo un riferimento specifico: gli indicatori sono divisi per un fattore di normalizzazione, quale ad esempio l'entità di emissioni o il consumo totale di risorse pro-capite per una determinata area geografica. Gli scopi della normalizzazione sono: la possibilità di trovare incongruenze nello studio, l'espressione della magnitudo relativa ad un riferimento per risultati trovati e il supporto alle fasi successive. Prima della fase successiva si esegue il raggruppamento che è composto dalla suddivisione delle categorie di impatto su base spaziale (locale, regionale, globale) o per tipo (uso di risorse, emissioni), e dall'ordinamento delle stesse, ad esempio secondo il livello di priorità. L'LCIA termina con la ponderazione, la quale consiste nell'assegnazione di un peso, basata su una scala di valori soggettiva, per ogni categoria d'impatto. In questa fase, quindi, si aggregano tutti i valori pesati in modo da ottenere un singolo indice. Questo processo è molto soggettivo, in quanto la scelta dei pesi varia in base alle priorità fissate, quindi è consigliata un'analisi di sensitività per supportare le decisioni prese.

2.2.4 L'interpretazione dei risultati

Il *Life Cycle Assessment* si conclude con l'interpretazione dei risultati, che ha lo scopo di verificare il raggiungimento degli obiettivi dello studio, di identificare eventuali problematiche, di valutare la completezza dello studio, quindi di formulare delle conclusioni e delle ipotesi di miglioramento. I risultati sono rappresentati attraverso dei grafici e sono in genere integrati con analisi di sensitività e consistenza. L'analisi di sensitività permette di osservare il comportamento del sistema al variare dei parametri ed è usata in ottica di miglioramento prestazionale. Con l'analisi di consistenza è possibile verificare, invece, la coerenza tra ipotesi, modelli e dati utilizzati nello studio, giustificando tutte le scelte compiute ed affiancando un supporto scientifico ad ognuna di esse.

2.3 Il software GaBi 6®

Il software GaBi 6® (www.gabi-software.com) è sviluppato da *Thinkstep* (www.thinkstep.com) e rappresenta un programma di modellizzazione degli studi LCA. Esso fornisce la possibilità di gestire correttamente i dati raccolti ai fini del calcolo dei risultati dell'analisi del ciclo di vita. Grazie al programma è possibile costruire un modello tramite la creazione di piani che contengono internamente processi e flussi. I piani possono essere di diverso livello, quindi, possono esistere dei macro-piani con dentro uno o più sotto-piani, il tutto per facilitare la rappresentazione grafica e semplificare la comprensione del modello. I processi, in genere sono collegati tra loro da flussi, in input e output, i quali sono l'espressione numerica delle elaborazioni fatte in sede di LCI. Altro elemento fondamentale dei software di modellizzazione degli studi LCA è rappresentato dalle banche dati. Esse costituiscono un importante strumento di supporto alla costruzione del modello, poiché contengono dei dati già elaborati da esperti. Infatti, è molto ricorrente l'uso di processi già esistenti nel database al fine di ottenere uno studio più preciso e dettagliato. Ogni processo, per una corretta assegnazione degli impatti, deve contenere tutti i consumi specifici relativi all'unità di riferimento e spesso risulta molto complicato reperire tutte le informazioni in maniera autonoma. *Ecoinvent* (www.ecoinvent.org) è il database più affermato a livello mondiale che offre dati documentati di migliaia di processi e quindi garantisce la valutazione degli impatti ambientali dei prodotti con trasparenza e consistenza (Cascone, 2016).

2.4 LCA a supporto della Circular Economy e nel settore delle costruzioni e demolizioni

Per favorire la diffusione su ampia scala dei modelli circolari, e quindi di quella che abbiamo definito *Circular Economy*, risulta fondamentale l'adozione dell'analisi del ciclo di vita, in particolare sulle fasi di progettazione dei nuovi prodotti e sull'individuazione delle soluzioni più vantaggiose per quelli che hanno già completato la fase d'uso o consumo. In genere, si pensa che “chiudere il cerchio” sia sempre la scelta migliore da compiere, ma la questione è molto più complessa di quanto sembra.

In generale, è necessario valutare opportunamente le conseguenze di tutte le opzioni possibili, che riguardino il riciclo di alcuni componenti o l'incenerimento dei rifiuti, sia

dal punto di vista economico, sia da quello ambientale e sociale. Per la valutazione degli impatti dell'economia circolare, l'applicazione di un approccio che tiene conto dell'intero ciclo di vita può risultare una soluzione adeguata e con molti benefici. Il *Life Cycle Assessment* (LCA) è uno strumento scientifico che permette la quantificazione degli impatti ambientali di un prodotto, processo o servizio e condivide con l'economia circolare la prospettiva legata alla considerazione del ciclo di vita nella sua totalità. L'LCA può fungere quindi da supporto all'implementazione dei principi dell'economia circolare in maniera efficiente, in quanto permette di scegliere il percorso che minimizza gli impatti ambientali e sociali.

L'economia circolare offre una visione in grado di influenzare il modo d'operare di aziende e governi. L'affiancamento di una metodologia scientifica come il *Life Cycle Assessment* può garantire che tale visione sia convertita in benefici concreti per le persone e per il capitale naturale.

Questo approccio ed analisi deve essere utilizzato anche se vogliamo ottenere una riduzione delle emissioni di CO₂ "globali" **nel settore edilizio**. In questo contesto diviene strettamente necessaria una valutazione ambientale corretta e completa dell'intero ciclo di vita dell'edificio e di tutte le sostanze e materiali coinvolti e ai relativi impatti.

L'LCA è uno strumento che permette al progettista di scegliere, durante la fase di progettazione, sia di una nuova costruzione che di una ristrutturazione, la soluzione meno impattante a livello ambientale per ogni elemento tecnico e sub-sistema tecnologico, tra quelli esaminati. Gli importanti parametri decisionali per l'utente dell'edificio sono i costi esterni, quindi ambientali, che quelli interni, e dunque economici, valutati nell'analisi.

L'LCA, nata in ambito industriale, viene da molti anni applicata sia a scala di prodotto sia a quella di edificio. Il fondamento della metodologia è l'approccio "*life cycle*", che consente di acquisire attraverso un metodo scientificamente riconosciuto, la consapevolezza del danno o delle potenzialità ambientali dovute ai processi che avvengono nelle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto/edificio. Questo approccio consente di comprendere come ogni scelta fatta in fase di progettazione e produzione abbia delle ricadute nella fase di distribuzione, uso e dismissione. Attraverso una conoscenza approfondita del prodotto, l'LCA consente di ottimizzare le modalità di acquisizione delle materie prime, i processi produttivi, le modalità di manutenzione e dismissione dal punto di vista ambientale.

Nel paragrafo precedente si è detto che l'LCA è regolata dalla famiglia delle ISO 14040, mentre per l'applicazione al settore edilizio alla scala di edificio si fa riferimento alla norma UNI EN 15978:2011, che fornisce il metodo di calcolo per valutare la prestazione ambientale e indicazioni su come comunicare i risultati della valutazione.

La norma si applica a edifici nuovi ed esistenti nonché a progetti di ristrutturazione.

La valutazione della compatibilità ambientale dell'edificio con approccio LCA consiste nell'associare i risultati di analisi LCA sviluppate su materiali e componenti edilizi, includendo anche la valutazione dell'energia necessaria al funzionamento degli edifici.

L'LCA di una nuova costruzione si può ottenere sommando tutti gli impatti che derivano dalle varie fasi di vita: la fase di costruzione, fase di gestione nel quale si considerano gli impatti causati dalle opere di manutenzione, la fase di fine vita dei materiali edili e degli impianti e la fase d'uso ed infine, i consumi che interessano annualmente l'opera.

Al fine di valutare i consumi e le emissioni nelle fasi a monte e a valle dell'uso, si possono considerare due indicatori, quali l'energia incorporata (*embodied energy*) e le emissioni di CO₂ incorporate (*embodied carbon*) nei materiali, dovute all'estrazione delle risorse, al loro trasporto, alla produzione e alla lavorazione di un prodotto. Generalmente l'indicatore dell'energia incorporata è quello maggiormente utilizzato in molti paesi, che determina la valutazione e la selezione di un materiale rispetto ad un altro. Le emissioni incorporate possono variare molto in base al tipo di combustibile che è utilizzato e quindi al mix energetico del singolo paese, e in base all'utilizzo o meno di energie rinnovabili.

2.5 Strategie e quantificazione della riduzione degli impatti ambientali nel settore delle costruzioni

Per ottenere una riduzione dell'impatto ambientale è necessario che i materiali da costruzione devono rispondere a specifici requisiti come, richiedere un ridotto contenuto di energia nelle diverse fasi del ciclo di vita, devono rilasciare un ridotto contenuto di emissioni di biossido di carbonio e gas serra, non devono rilasciare sostanze chimiche inquinanti e di massima importanza, al termine della loro vita utile, devono rientrare nel ciclo produttivo attraverso riuso o riciclo o essere assorbiti dall'ambiente.

Quest'ultimo requisito soddisfa contemporaneamente tre obiettivi essenziali:

- 1) La riduzione del consumo di energia in fase di produzione,

- 2) La limitazione dell'uso di materie prime vergini,
- 3) Il contenimento della produzione di rifiuti.

L'obiettivo complessivo della riduzione degli impatti ambientali dovuti all'utilizzo dei materiali da costruzione può essere raggiunto solo mettendo in atto un modello produttivo a ciclo chiuso, che valorizzi le materie prime evitandone il declassamento a rifiuti e al tempo stesso conservandone l'energia incorporata. La progettazione tecnologica e ambientale deve tenere conto di prospettive di fine vita utile del materiale, del componente e degli elementi tecnici, ponendo particolare attenzione alle tecniche costruttive, alle modalità di gestione e recupero dei rifiuti, alle tecnologie di trattamento e alle caratteristiche prestazionali dei materiali riciclati.

Le strategie da adottare riguardano sia la scelta dei materiali da costruzione, sia le opzioni tecniche di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Esse rispondono ai tre obiettivi della riduzione dell'energia incorporata negli edifici, della quantità di materie prime impiegate e del quantitativo di rifiuti da C&D:

- Conservazione e l'adattamento di edifici preesistenti in luogo della demolizione o costruzione;
- Riutilizzo dei componenti da demolizione in sito (nello stesso cantiere);
- Impiego di materiali e/o componenti di riuso recuperati in altri cantieri o altro;
- Riciclo di rifiuti da C&D in cantiere;
- Impiego di materiali con contenuto di riciclato;
- Impiego di materiali naturali a bassa energia incorporata;
- Impiego di materiali locali (riduzione degli impatti legati al trasporto);
- Ottimizzazione progetto tecnologico per ridurre il volume di materiali impiegati e i rifiuti da costruzione;
- Uso di tecniche costruttive che facilitino il disassemblaggio degli elementi tecnici per il recupero dei materiali;
- Uso di materiali e componenti riciclabili.

Questi obiettivi vanno a soddisfare anche quelli che sono i criteri del *Design for Deconstruction*, che garantisce la disassemblabilità e il recupero e il reinserimento dei materiali nel ciclo economico, ma al fine di comprendere i benefici ambientale ottenibili dall'implementazione delle suddette strategie e di selezionare, in fase di progetto, le più idonee rispetto allo specifico contesto in esame, è necessario utilizzare la metodologia LCA e gli indicatori individuati precedentemente.

Sarà necessario di volta in volta verificare le potenzialità di maggiore riduzione delle emissioni di CO₂ e del consumo di energia delle singole strategie in quanto offrono ognuna uno specifico vantaggio.

Per soddisfare l'effettiva circolarità dei materiali provenienti da demolizioni o costruzioni, il riuso può avvenire in loco o in altro sito. Il massimo esempio del riuso in loco è rappresentato dalla conservazione di parti dell'edificio all'interno di interventi di ristrutturazione che impedisce la costruzione o l'acquisto di materiali vergini, o il riutilizzo in altre applicazioni in loco o nelle vicinanze del cantiere. Questo è quello che accade nel nostro caso, dove i rifiuti inerti ottenuti dalla demolizione vengono utilizzati come sottofondo per l'infrastruttura stradale nella zona limitrofa l'edificio demolito.

Per il riuso off-site, si deve considerare la distanza massima per il quale è ancora conveniente utilizzare il materiale riciclato poiché molte volte le emissioni dovute al trasporto dell'elemento sono maggiori del risparmio di CO₂ in particolar modo per alcuni materiali che hanno un peso specifico.

Attraverso la metodologia LCA è possibile calcolare e confrontare i vantaggi adottando materiali e componenti di riuso o con contenuto di riciclato rispetto all'adozione di prodotti convenzionali, oltre ad avere anche uno scenario per quanto riguarda gli impatti che si possono avere considerando differenti distanze dei trasporti. La quantificazione complessiva degli impatti ambientali evitati attraverso riuso e riciclo dei rifiuti C&D non è un'operazione banale, poiché richiede la conoscenza di una serie di dati, non sempre disponibili, come le potenziali modalità di trasporto o i consumi energetici dei processi di riciclaggio.

Si possono graficare e quindi rappresentare i processi che sono possibilmente evitabili tramite il riuso e il riciclo. Se poi queste due operazioni avvengono nello stesso luogo della demolizione, anche il trasporto verso il cantiere può essere evitato.



Fig.2.4 Definizione dei confini del sistema con LCA nel caso di recupero di materiale da demolizione
 (Fonte Lamarca F., dispense del corso di Ecobilancio delle Risorse, Dipartimento Chimica Materiali
 Ambiente, Ingegneria La Sapienza, Roma)

In definitiva, l'LCA fornisce delle misure quantitative consistenti su cui far dipendere le scelte compiute a livello di prodotto, ma anche di progetto, dimostrando così le sue potenzialità come strumento complementare per l'economia circolare e quindi per far sì che ci si renda conto che adottare misure di recupero e riciclo comporta una riduzione degli impatti ambientali consistente, specialmente se pensiamo al lungo termine, e molte volte anche convenienza economica.

3. LCA applicata alla valorizzazione dei rifiuti da C&D

3.1 Scopi e obiettivi del caso studio

Nel caso studio si considera un edificio localizzato nell'area del porto Vecchio di Trieste, il quale non essendo soggetto a vincoli architettonici ma è destinato alla demolizione. Poiché non sono presenti progetti di riqualificazione o di ricostruzione per l'edificio, i rifiuti provenienti dall'attività di demolizione sono considerati stock di materiale possibilmente destinato ad essere recuperato. Lo scenario rappresenta la realizzazione del concetto di Urban Mining, sopra descritto.

Gli inerti prodotti da attività di C&D possono avere diversi destini grazie agli impianti di trattamento e reinseriti nella catena economica come aggregati riciclati utilizzabili per molteplici scopi.

Lo scopo di questa prima analisi è quello di *avere una quantificazione dello stock di materiale che l'edificio del Porto Vecchio conserva*. Dunque, *il primo obiettivo dello studio* è quello di misurare il volume del suddetto e identificare i principali materiali che lo costituiscono.

La seconda parte dell'analisi vuole confrontare i possibili scenari di trattamento dei rifiuti da C&D e, nell'ottica di favorire un riutilizzo in loco del materiale trattato, è stato considerato un progetto di sopraelevazione di un tratto di strada fronte mare all'interno dell'area portuale. Tale iniziativa è da leggersi nel quadro delle azioni di adattamento e mitigazione degli effetti del cambiamento climatico sull'innalzamento del livello del mare, già previste tra quelle di riqualificazione dell'area del Porto Vecchio di Trieste.

Gli *obiettivi* sono dunque quelli di:

- 1) confrontare lo scenario in cui il materiale da C&D viene trattato in un impianto fisso, con uno scenario nel quale il materiale è direttamente trattato in loco con un impianto mobile per poi essere trasportato al cantiere dell'infrastruttura stradale;
- 2) valutare l'impatto che ha la fase di stoccaggio per ciascun trattamento;
- 3) valutare l'impatto legato al conferimento in discarica dei rifiuti provenienti dalla demolizione.

Con lo scopo di comprendere il contributo dei trasporti rispetto al profilo degli impatti ambientali imputabili ai processi e ai trattamenti precedentemente descritti, è stato deciso di analizzare differenti scenari nel quale variano le distanze degli impianti fissi di trattamento e la distanza del cantiere stradale da questi ultimi.

Al fine di fornire un quadro più completo degli elementi di valutazione delle soluzioni proposte, valutazioni ambientali sono state affiancate anche quelle economiche ottenute facendo riferimento ai prezzi dei materiali e dei trasporti. Maggiori dettagli al riguardo saranno forniti ed approfonditi nel capitolo 4.3.



Fig.3.1 Mappa del Porto Vecchio di Trieste rappresentante la locazione dell'edificio, campione dell'analisi, la strada da sopraelevare da progetto e la loro distanza

Come verrà descritto e documentato in seguito, considerando l'ipotesi di riutilizzo dello stock di materiale inerte ottenibile dalla demolizione dell'edificio oggetto dello studio, risulta un eccesso di materiale prima seconda non utilizzato. Per questo motivo, sempre ad agire contro gli effetti dell'erosione delle coste, si è ipotizzato di impiegare l'aggregato riciclato per la produzione di calcestruzzo per la costruzione di moduli per la formazione di barriere antierosione. Tali strutture sono progettate per favorire il ripopolamento della flora e fauna marina ed impedire azioni di pesca illegali con strascico e rastrellamento.

In virtù di quanto appena descritto, il caso studio si pone anche l'obiettivo di:

- confrontare gli impatti ambientali di due tipi di piastre o moduli: una costruita in modo standard, cioè con solo calcestruzzo naturale (sabbia e ghiaia direttamente estratti da cava) e l'altra realizzata con una piastra che invece utilizza il 15% di materiale riciclato rispetto alla quantità totale di aggregato che compone la miscela di calcestruzzo.

La valutazione congiunta dei risultati ottenuti dai modelli ipotizzati è finalizzata alla stima di quelli che sono gli impatti complessivi del sistema di base che comprende lo

stoccaggio del totale dei rifiuti, la valorizzazione in impianto di trattamento di rifiuti inerti e la costruzione del numero dei possibili blocchi di calcestruzzo strutturato per evitare l'erosione delle coste e per il ripopolamento del compartimento marino. Una valutazione dettagliata dei singoli contributi delle varie fasi considerate per i vari scenari analizzati, forniscono risultati a supporto delle decisioni sia nel contesto specifico, oggetto di studio, che in contesti simili a quello analizzato.

3. 2 L'unità funzionale - UF

Uno studio che prevede un approccio di ciclo di vita e che sfrutta la metodologia LCA prevede la definizione dell'unità funzionale (FU), ovvero l'unità di riferimento rispetto alla quale vengono normalizzati tutti i flussi in ingresso e uscita dal sistema e a cui sono riferiti i risultati. Tale passo è fondamentale per assicurare la comparabilità dei risultati dell'LCA ed è strettamente correlato allo scopo dell'analisi. Quando l'oggetto dello studio è la gestione dei rifiuti, l'unità funzionale viene identificata solitamente con la massa di rifiuto in ingresso al sistema di gestione (T. Coleman, 2003). Nel caso dei rifiuti, oltre a caratterizzare il flusso di riferimento da un punto di vista quantitativo, è di fondamentale importanza indicarne anche la composizione, perché essa influenza le opzioni e modalità di trattamento applicabili e quindi gli impatti sull'ambiente.

Sulla base delle considerazioni fatte, è stata definita come unità funzionale (del caso studio più generale che prevede il recupero dei rifiuti C&D in un sottofondo stradale e in moduli antierosione): lo stock di materiale incorporato nell'edificio preso in considerazione nel Porto Vecchio di Trieste, che equivale a *183.804 tonnellate di rifiuti inerti da C&D*. È importante sottolineare il rapporto di sostituzione tra gli AR e gli AN che sono estratti da cava. Nel modello che si è costruito si considera che per ogni tonnellata di aggregato riciclato prodotto è stata evitata la produzione una tonnellata di aggregato naturale con le stesse caratteristiche. Questo tipo di ipotesi è accettabile considerando il basso grado prestazionale richiesto per il recupero che si è immaginato per i rifiuti da costruzione e demolizione.

3.3 *System boundary* – Definizione dei confini del sistema

In uno studio *Life Cycle Based* devono essere definiti in maniera univoca anche i confini del sistema. Attraverso la costruzione del diagramma di flusso rappresentativo del sistema si determinano i processi da includere nella valutazione considerando che "il ciclo di vita inizia quando il materiale diventa un rifiuto e perde il suo valore, continua attraverso i processi di trattamento fino a quando cessa di essere un rifiuto, diventando un'emissione in aria o acqua, un materiale inerte in discarica o tornando ad essere un prodotto utile come risultato di un processo di valorizzazione". Quando nel sistema sono incluse operazioni di riciclo/recupero è opportuno "espandere" i confini del sistema, includendo anche gli impatti evitati per la produzione del materiale o prodotto primario che viene sostituito dall'utilizzo dei prodotti secondari (T. Coleman, 2003).

Coleman descrive perfettamente l'approccio seguito nel caso studio, che ha previsto appunto la quantificazione degli impatti evitati legati alla reintroduzione nel sistema economico di materie prime seconde, che evitano la produzione di materie prime vergini (in quantitativi equivalenti sulla base di quanto descritto per il rapporto di sostituzione).

Oltre a quantificare i rifiuti avviati alle diverse modalità di trattamento, è necessario comprendere come i flussi poi sono ripartiti all'interno del sistema per essere valorizzati. Sono stati quindi stimati sia i flussi dei rifiuti che vengono direttamente conferiti agli impianti e quelli che invece escono dagli impianti per essere trasportati nei luoghi di riutilizzo.

Per risolvere i casi di multifunzionalità, l'approccio utilizzato consiste nell'espandere i confini del sistema, includendo nell'analisi anche le produzioni di materie prime evitate grazie al recupero e all'utilizzo delle risorse secondarie. I confini del sistema includono tutti i processi di trattamento delle 183.804,48 tonnellate di rifiuti prodotti da attività di demolizione selettiva dell'edificio considerato per la loro valorizzazione nei contesti di riutilizzo precedentemente descritti.

Nel dettaglio i processi inclusi nel sistema sono:

- lo stoccaggio;
- la valorizzazione di rifiuti C&D sia in impianto sia fisso che mobile per la produzione di aggregati riciclati;
- lo smaltimento in discarica;
- l'evitata produzione di aggregati naturali;

- i trasporti, che comprendono i trasporti associati al conferimento dei rifiuti agli impianti e i trasporti per il riutilizzo degli aggregati riciclati come sottofondo stradale e come materiale per la costruzione di calcestruzzo strutturato.

Per ogni fase presente nel sistema sono stati considerati i consumi energetici e di gasolio, i consumi di acqua e gli impatti prodotti dai trasporti, oltre che gli impatti evitati come output.

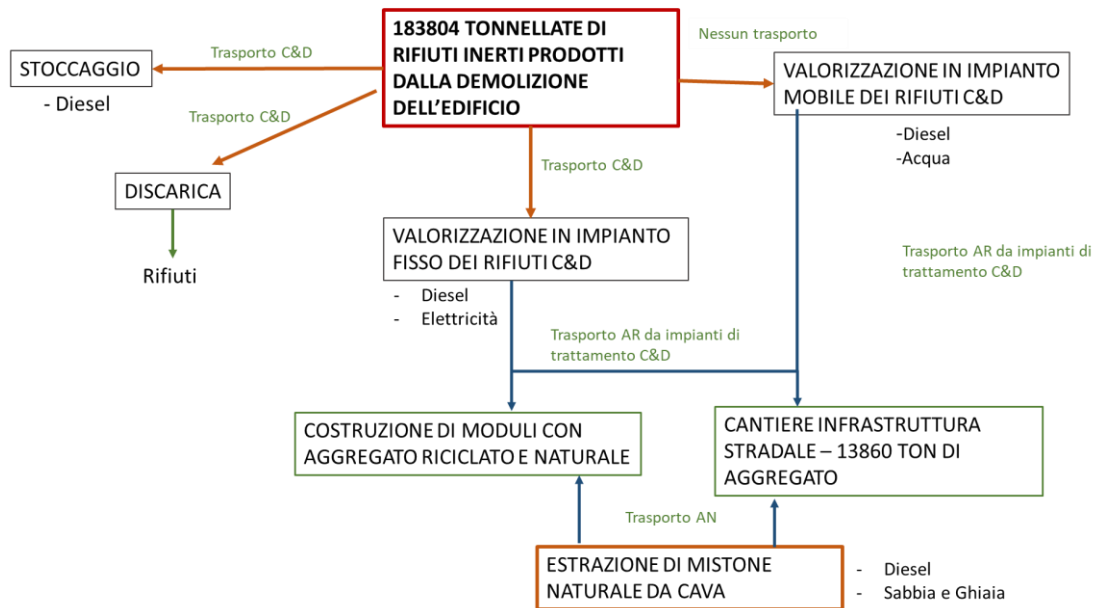


Fig.3.2 Diagramma di flusso della valorizzazione di 183804,48 tonnellate di rifiuti da C&D

3.4 I Dati

Nello studio sono stati raccolti dati di carattere primario (da raccolta dati sul campo), secondario (da database e letteratura) e terziario (stime). Sono stati utilizzati i dati forniti da:

- il servizio satellitare di Google Earth dal quale sono state estrapolate le grandezze geometriche dell'edificio considerato campione della ricerca per trovare la quantità di stock disponibile per le successive analisi;
- La ricerca della Dott.sa G. Borghi, "Analisi LCA a supporto della pianificazione della gestione dei rifiuti C&D non pericolosi in Lombardia", nella quale sono state considerate le raccolte dati svolte in differenti impianti di trattamento della Lombardia. Dalla stima di questi dati sono stati ricavati i consumi degli impianti mobili e fissi, compresi di stoccaggio, dei trasporti necessari e quelli per il

conferimento in discarica. Per ognuno di questi è stato identificato il processo di *default* di *Ecoinvent 3.1* che lo rappresenta, seguendo quelli indicati nella ricerca;

- Dallo studio condotto da F. La Marca, C. Marcoccio, P. Zambito, “Calcestruzzo strutturale con aggregati riciclati”, si sono estrapolate le proporzioni per la costruzione di calcestruzzo strutturato con l’utilizzo di aggregato riciclato. In questo sono state svolte le prove di resistenza a compressione sul materiale testandone le prestazioni. Attraverso questi dati sono state calcolate le quantità di AR da utilizzare per la costruzione dei moduli per il ripopolamento della flora e della fauna marina;
- Dall’analisi di fattibilità svolta per la realizzazione di aree di ripopolamento di flora e fauna, con l’impiego di calcestruzzo, nell’area della regione Puglia finalizzata alla mitigazione degli impatti sui fondali e la compensazione ambientali. Da questi studi, effettuati dal Prof. G.C. Calò, si sono ottenuti i dati geometrici, strutturali ed economici dei moduli utilizzati nel nostro caso studio;
- Da altri studi di fattibilità e progetti per l’installazione di dissuasori, come quelli dell’azienda “*Trans Adriatic Pipeline*” e del progetto “Vivere il Mare” della Regione Sicilia, sono stati acquisiti i dati geometrici e strutturali di altri tipi di moduli disponibili sul mercato per essere confrontati tra loro e determinarne gli impatti;
- Per compiere l’analisi dei costi sono stati invece consultati i prezziari di differenti regioni, come quelli della regione Piemonte, Sicilia e Veneto ed alcuni listini prezzi di aziende italiane come: “Emiliana conglomerati-Sarmato”, “Rauzi s.r.l.”, “Stabili s.r.l.-Impresa di costruzioni stradali”, “Grandi Scavi srl”.

Nella fase successiva di inventario saranno esplicitati in maniera dettagliata tutti i dati utilizzati nello studio e verrà fornita una descrizione approfondita dei processi che concorrono alla valorizzazione in impianti o al conferimento in discarica dei rifiuti e alla produzione dei moduli.

3.5 Assunzioni del caso studio

Di seguito sono elencate le assunzioni che son state fatte a monte del lavoro di analisi, necessarie per compiere la valutazione degli impatti ambientali ed economici.

- Il materiale in entrata agli impianti di trattamento sarà recuperato con una percentuale pari al 100% per quanto riguarda l’impianto fisso, mentre per il 98%

per quanto riguarda l'impianto mobile. Parte degli scarti di quest'ultimo sanno conferiti in discarica.

- Per l'assunzione fatta nel punto precedente, si considera il fattore di sostituzione pari a 1.

Altre assunzioni saranno descritte con maggior dettaglio durante l'analisi di inventario.

3.6 Metodo di valutazione degli impatti ambientali

La metodologia LCA prevede che i flussi entranti ed uscenti dai processi considerati siano convertiti in impatti ambientali secondo una serie di indicatori per le varie le categorie d'impatto previste dal metodo di impatto selezionato. Le categorie di impatto si riferiscono agli aspetti più rilevanti dal punto di vista ambientale (cambiamento climatico, la conservazione degli ecosistemi naturali e della biodiversità, consumo delle risorse, etc..) rispetto a cui valutare le prestazioni ambientali di un sistema.

In questo studio è stato utilizzato come metodo di impatto l'*Environmental Footprint* (EF) nella sua versione 3.0, che propone un approccio di tipo "mindpoint".

In questa versione del pacchetto di riferimento EF 3.0 alcuni metodi per la valutazione dell'impatto del ciclo di vita sono stati modificati rispetto al precedente ILCD (*International Reference Life Cycle Data System*) su cui si basa e i flussi elementari sono stati adattati ed ampliati. Di tutte le categorie di impatto previste dal metodo EF 3.0, è stato considerato un numero ristretto: nella tabella 3.1 sono riportate tutte le categorie d'impatto, gli indicatori e le corrispettive unità di misura per la metodologia EF 3.0 a cui si è fatto ricorso per la fase di valutazione dei risultati dello studio.

L'analisi di LCA è stata effettuata utilizzando il *software* GABI nella sua versione XX e il data base *ecoinvent* 3.1 che ha fornito i processi di *database utilizzati per costruire i modelli di LCA dello studio*.

Categorie d'impatto	Indicatore	Unità di misura
Cambiamento climatico	Forzante radiativo come <i>Global Warming Potential</i> (GWP 100)	[kg CO ₂ eq.]
Riduzione dello strato di ozono	<i>Ozone Depletion Potential</i> (ODP)	[kg CFC -11 eq.]
Tossicità umana, effetti cancerogeni	<i>Comparative Toxic Unit for humans</i> (CTUs)	[CTUh]
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	<i>Comparative Toxic Unit for humans</i> (CTUs)	[CTUh]
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	<i>Human exposure efficiency relative to U235</i>	[kBq U235]
Formazione fotochimica di ozono	<i>Tropospheric ozone concentration increase</i>	[kg NMVOC eq.]
Acidificazione	<i>Accumulated Exceedance (AE)</i>	[Mole of H ⁺ eq.]
Eutrofizzazione (acqua dolce)	<i>Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)</i>	[kg P eq]
Eutrofizzazione (acqua marina)	<i>Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)</i>	[kg N eq.]
Eutrofizzazione terrestre	<i>Accumulated Exceedance (AE)</i>	[Mole of H ⁺ eq.]
Ecotossicità (acqua dolce)	<i>Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)</i>	[CTUe]
Uso del suolo	<i>Soil quality index</i> <i>Biotic production, erosion resistance...</i>	[Pt]
Impoverimento delle risorse idriche	<i>User deprivation potential</i>	[m ³ world equiv.]
Uso delle risorse di minerali e metalli	<i>Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)</i>	[kg SB eq.]
Uso delle risorse energetiche	<i>Abiotic resource depletion fossil fuels (ADP-fossil)</i>	[MJ]

3.7 Analisi dell'inventario (LCI)

3.7.1 Stock di materiale nell'edificio considerato nello studio.

L'infrastruttura considerata è localizzata in Piazza della Libertà, sul fianco della Stazione Centrale della città di Trieste. Il suddetto edificio è un ex silos del 1890 utilizzato in epoca asburgica come deposito e movimentazione delle granaglie.

È costituito da un corpo fabbricato a pianta irregolare (dalle dimensioni indicativamente di 350 x 170 m) composto da un piano terra, e due piani fuori terra oltre ad un piano di copertura, per un'altezza totale di circa 23 m fuori terra. La parte anteriore, che si affaccia sulla Piazza della Libertà, è stata riqualificata e viene utilizzata come parcheggio e autostazione anche per i bus di linea.

Si è deciso di prendere come campione d'analisi la parte posteriore della struttura (evidenziata in figura 3.3), che risulta essere, tra l'altro, già sprovvista di gran parte del tetto, degli infissi e della pavimentazione. Inoltre, l'edificio è modulare dunque i vari compartimenti posseggono le stesse dimensioni, semplificando in questo modo la valutazione della quantità di stock che il campione racchiude in sé.



Fig. 3.3 Immagine satellitare rappresentante il perimetro dell'edificio considerato per calcolare lo stock di materiale incorporato

Per ottenere i dati necessari per il raggiungimento del nostro obiettivo, si è utilizzato il servizio satellitare di Google Earth. Con questo si è ottenuta:

- l'altezza della facciata, escludendo il tetto;
- lo spessore delle pareti;
- la larghezza di un modulo;
- le aree delle finestre e della porta;
- oltre al perimetro della struttura, quindi la larghezza della facciata e la lunghezza della parte di edificio considerata nel caso studio.

Altezza modulo	16	m
Larghezza	6,5	m
Spessore	2	m
area porta m	19	m ²
Area finestra 1	3,7	m ²
Area finestra 2	17	m ²
Larghezza facciata edificio	28	m
Lunghezza edificio	249	m

Tab.3.2 Misure geometriche dell'edificio

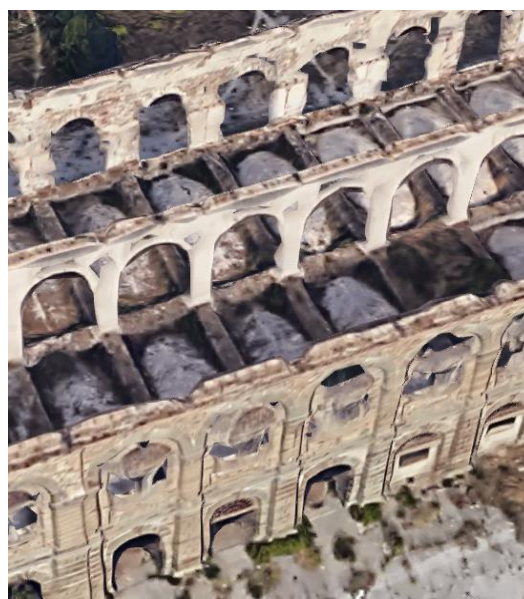


Fig.3.4 Immagine satellitare rappresentante l'architettura modulare

In un'architettura modulare ogni blocco fisico implementa una o uno specifico insieme di funzioni e ha relazioni ben definite con gli altri blocchi. Ottenere le grandezze geometriche di un modulo consente quindi di fare considerazioni progettuali e misurazioni su un singolo blocco, per ottenere il volume totale dell'infrastruttura attraverso la moltiplicazione per il numero totale di moduli.

In virtù del carattere modulare della struttura è stato facile trovare il **volume** complessivo dell'immobile che equivale, come detto, alla moltiplicazione del volume di un singolo modulo pari a 447.6 m³ per i 76 moduli calcolati, a cui sono stati aggiunti i m³ occupati dalle pareti divisorie di ogni singolo modulo, per ottenere un volume totale di **102113,6 m³** dell'edificio.

Si è individuato attraverso analisi di letteratura, che per l'edificazione del corpo fabbricato sono state utilizzate prevalentemente pietre naturali, calcestruzzo, malte e

mattoni. Tutti quei materiali, considerati di pregio e di buone caratteristiche strutturali, che attraverso l'operazione di demolizione selettiva ipotizzata, andranno a costituire il materiale inerte che dovrà essere successivamente trattato dagli impianti per ottenere un aggregato riciclato, di conseguenza anch'esso di buona qualità.

Poiché 1 m³ di aggregato riciclato pesa all'incirca 1,8 tonnellate, lo **stock di materiale** incorporato nella struttura è pari a **183.804,48 tonnellate**, che peraltro rappresenterà l'unità funzionale del nostro caso studio.

3.7.2 Analisi dell'Inventario: consumo energetico dell'impianto fisso e mobile

Sulla base dei dati disponibili in Borghi G, 201X per i differenti impianti di valorizzazione degli inerti sono stati definiti i consumi di energia elettrica (solo negli impianti fissi), di gasolio e materiali ausiliari che comprendono la lega di acciaio-manganese per il ricambio delle parti meccaniche maggiormente soggette ad usura (mascelle dei frantoi) e l'acqua, utilizzata per l'abbattimento delle polveri che possono svilupparsi durante la riduzione dimensionale delle macerie e lo scarico dai nastri delle MPS.

Negli impianti alimentati ad energia elettrica non compare il consumo di acqua, in quanto, in corrispondenza dei frantoi sono presenti sistemi di aspirazione che inviano l'aria carica di polveri ad un impianto di abbattimento con filtri a manica. Trattamenti così sofisticati non sono presenti negli impianti mobili alimentati a gasolio, dove per l'abbattimento delle polveri vengono usati spruzzi d'acqua attraverso ugelli nebulizzatori disposti in corrispondenza dei punti più critici.

Attraverso diverse ricerche e studi si è giunti ad ottenere per entrambi gli impianti di trattamento, sia mobile che fisso (EE), il consumo di energia elettrica, gasolio, acqua e di acciaio, anche se nel nostro caso studio specifico non trattiamo il recupero di metalli. Questi sono rappresentati nella tabella sottostante.

Impianto fisso alimentato ad EE			Impianto mobile alimentato a gasolio		
Consumo di energia	[kWh/t]	1,13	Consumo di acqua	[l/t]	1,56
Consumo di gasolio	[l/t]	0,25	Consumo di gasolio	[l/t]	0,64
Consumo di acciaio	[kg/t]	0,02	Consumo di acciaio	[kg/t]	0,02

Tab.3.3 Consumi degli impianti a gasolio e EE riferiti ad 1 tonnellata di rifiuti da C&D.

I suddetti consumi sono riferiti ad una tonnellata, quindi si vuole trovare il consumo complessivo riferito alla nostra unità funzionale che risulta essere:

Impianto fisso alimentato ad EE			Impianto mobile alimentato a gasolio		
Consumo di energia	[kWh]	207699,1	Consumo di acqua	[l]	286735
Consumo di gasolio	[l]	45951,12	Consumo di gasolio	[l]	117634,9
Consumo di acciaio	[kg]	3676,09	Consumo di acciaio	[kg]	3676,09

Tab.3.4 Consumi degli impianti a gasolio e EE riferiti a 183804,48 tonnellate di rifiuti da C&D

I valori ottenuti sono stati implementati all'interno del *software* Gabi utilizzando il processo di *default*: “Diesel, burned in building machine {GLO}| processing | APOS, S” per la simulazione del consumo di Diesel ed il processo di *ecoinvent 3.1*: “Electricity, medium voltage (IT) / market for” per il consumo di elettricità.

3.7.3 Analisi di inventario: prodotti evitati

Per costruire il processo dei prodotti evitati e dunque degli impatti sottratti all'ambiente grazie al riutilizzo dei rifiuti prodotti da C&D in sostituzione alle risorse non rinnovabili, bisogna modellizzare il processo di produzione dell'aggregato naturale. Nel caso oggetto di studio si fa riferimento al mistone naturale che si può ottenere direttamente tramite estrazione del materiale vergine in cava o attraverso trattamento del rifiuto inerte che permette di ottenere aggregato riciclato. Il trattamento del rifiuto da C&D ha lo scopo, di ottenere aggregati con diverse granulometrie e tipologie per la commercializzazione attraverso una linea di vagliatura per la produzione di materiale tondeggiate e da una linea parallela di triturazione e vagliatura delle frazioni più grossolane per la produzione degli "spaccati". Per quanto riguarda le sabbie, queste attraversano anche dei cicli di lavaggio e ciclonatura con l'obiettivo di effettuare la separazione delle sostanze ultrafini e limose ($d < 0,065$ mm). Tali frazioni diminuirebbero infatti le prestazioni delle sabbie nel loro utilizzo come materie prime di cementi e bitumi.

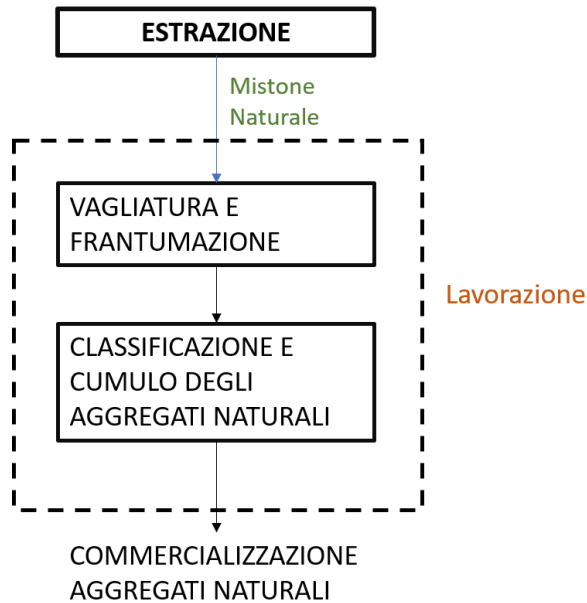


Fig.3.5 Fasi dell'estrazione del mistone e della produzione di aggregato naturale trattato.

Per ottenere i valori dei consumi necessari per l'estrazione dell'aggregato naturale sono stati analizzati i più recenti documenti statistici provinciali, detti Statistiche Cave, inerenti all'attività di estrazione di sabbia e ghiaia nel 2014 in Lombardia. Ogni cava, infatti, ha l'obbligo di presentare annualmente questa dichiarazione alla provincia di riferimento, comunicando informazioni inerenti alla quantità di materiale estratto, i consumi di combustibili ed energia elettrica, il materiale commercializzato ed i rispettivi destini. I risultati sono quelli rappresentati nelle tabelle sottostanti.

Estrazione di mistone naturale			Produzione aggregati naturali		
Consumo gasolio	[l/t]	0,39	Consumo energia elettrica	[kWh/t]	1,83
Consumo sabbia e ghiaia	[t/t]	1,04	Consumo gasolio	[l/t]	0,46
			Consumo acqua	[l/t]	0,46

Tab.3.5 Consumi riferiti all'estrazione di 1 tonnellata di mistone naturale e di aggregato riciclato

Nel nostro caso studio il confine di questo processo elementare è rappresentato dalla produzione di mistone naturale e dunque i consumi che saranno implementati nel *software* Gabi riguarderanno esclusivamente il consumo di *Diesel* e il consumo di ghiaia e sabbia naturale. Nel caso dell'aggregato naturale è necessaria anche energia elettrica (per alimentare sia l'impianto di lavorazione che i siti che estraggono sabbia e ghiaia), e acqua che viene utilizzata per il lavaggio delle sabbie.

Sono dunque riportati di seguito i valori del consumo di *Diesel* e di materiale naturale per l'unità funzionale pari a 182804.26 tonnellate.

Estrazione di mistone naturale		
Consumo di gasolio	[l]	71683,75
Consumo di sabbia e ghiaia	[ton]	191156,7

Tab.3.6 Prodotti evitati riferiti all'estrazione di 183804,48 tonnellate di mistone naturale

3.7.4 Analisi di inventario: il trasporto dei rifiuti C&D

la distanza media dei flussi tra il produttore dei rifiuti da C&D e l'impianto di trattamento che risulta essere pari a 35 km, se si considera che il trasporto avvenga all'interno della provincia di riferimento, mentre risulta 20 km se si considera il raggio comunale (Borghi, XXX).

Nel nostro caso studio base è stato identificato un impianto ad una distanza di 7,5 km dal luogo di produzione dei rifiuti che, come detto già, risulta essere quella dell'edificio dove avviene la demolizione dell'infrastruttura. Grazie alla piattaforma satellitare di Google Earth sono stati valutati i possibili tragitti per il conferimento in impianto fisso e quelli per il trasporto del materiale di aggregato riciclato nel luogo di cantierizzazione della strada. Questi, da una media dei percorsi disponibili, sono risultati essere pari a 6 km nel primo caso e a 10 km nel secondo.

Poiché sono stati definiti altri scenari proprio per cercare di valutare nel miglior modo gli impatti che riguardano i trasporti e quanto questi incidano nel processo studiato, è stato deciso di creare dei processi elementari che riguardano:

- **Trasporto di rifiuto C&D all'impianto** con una distanza massima di 35 km, una distanza minima di 5 km e una media di 20 km.
- **Trasporto in uscita dall'impianto fisso di aggregati riciclati (AR)** a distanze pari a 30 km, (massima distanza), 10 km (minima) e la distanza pari a 15 km è come distanza media.
- **Trasporto di AR in uscita dall'impianto di trattamento e destinato all'impresa di fabbricazione dei moduli.** È stata fatta una ricerca delle imprese che si trovano nella Regione che progettano e realizzano manufatti prefabbricati industriali in cemento destinati al settore dell'edilizia e delle costruzioni,

realizzati in conformità alle specifiche norme relative al prodotto ed in linea con gli standard in fatto di qualità, affidabilità e sicurezza. Da una rapida analisi di mercato, si è visto che sono presenti diverse aziende nell'area di Trieste e che la più vicina è ad una distanza di 7 km. Per dare carattere di generalità all'analisi, oltre a tale distanza è stata considerata anche una distanza di 10 km per il nostro caso studio di base di Trieste.

Riguardo il mezzo di trasporto utilizzato per trasportare gli inerti e valutarne il consumo di diesel, si è trovato un generale ricorso a grandi mezzi (>32 tonnellate) e si è ipotizzato che tali mezzi rispettassero i limiti di emissioni previsti per la categoria Euro 5.

In virtù di quanto detto, è simulato il trasporto dei grandi conferitori nell'analisi LCA è stato implementato nel *software Gabi*, il processo di ecoinvent 3.1 "Transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO5 (RER)".

3.7.5 Analisi d'inventario: stoccaggio e conferimento in discarica dei rifiuti C&D

Lo stoccaggio, o anche definito l'operazione "R13-messa in riserva" dei rifiuti non pericolosi, "è consentito esclusivamente per una sola volta e ai soli fini di cernita o selezione o frantumazione o riduzione volumetrica dei rifiuti"³. Questa operazione viene effettuata prima dell'invio dei rifiuti a recupero o smaltimento.

L'impatto associato a questa operazione è legato al consumo di gasolio associato alla movimentazione del materiale prodotto dalla demolizione nelle piazzole di stoccaggio e risulta essere pari a 0,11 litri per ogni tonnellata di rifiuto stoccato.

Si può dunque dire che questo processo rappresenta un'operazione temporanea, mentre l'analisi di LCA ha come obiettivo la valutazione dell'intero ciclo di vita del rifiuto, da quando viene prodotto a quando diventa un'emissione o materiale secondario. Per questo motivo è considerato all'interno dello scenario di base del caso studio di Trieste ma non è considerato all'interno dei processi che descrivono gli scenari che saranno confrontati tra il conferimento dei rifiuti in discarica ed il trattamento di questi negli impianti fissi e mobili (poiché comune ai due scenari).

³ Riferito ai rifiuti dell'All.1, Sub-All.1, c.8 dell'art.6, del D.M.5 febbraio 1998 che rimanda alle disposizioni generali del D.L.vo 22/97, oggi il D.L.vo 152/06

All'interno del modello d'analisi del software lo stoccaggio è stato simulato con il processo di *default*: Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.

Per quanto concerne la modellizzazione del processo di smaltimento in discarica dei rifiuti inerti C&D, è stato utilizzato il processo di *ecoinvent* "RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill". Per quanto riguarda il trasporto è stata considerata una distanza di 40 km in quanto, da un'analisi di mercato si è constatato che le discariche in generale coprono un territorio con un raggio pari a 40 km. Il conferimento avviene attraverso grandi camion, >32 tonnellate, ipotizzati sempre ricadenti nella categoria di emissioni Euro 5.

Dai risultati delle valutazioni sui consumi degli impianti, è stato riscontrato che nell'impianto mobile lo 0,17% del materiale trattato risulta essere scarto che è trasportato poi in discarica. Per questo motivo è stato costruito un processo elementare *ad hoc* che comprende il trattamento del materiale inerte in discarica simulandolo con il processo di *default* "RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill". Per il relativo trasporto è stata considerata una distanza media per il conferimento di 40 km con grandi mezzi Euro 5, attraverso il processo: "Transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO5 (RER)".

Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
Scarto	ad hoc	Scarto e Trasporto in discarica da impianto	1 pcs.
*Trattamento	ecoinvent	RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill	1,7 kg
*Trasporto	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	0,068 tkm

Tab.3.7 Processo elementare che descrive lo scarto che si ottiene dalla valorizzazione di 1 ton di rifiuti C&D in impianto mobile e il rispettivo conferimento in discarica.

E' doveroso precisare che nel momento in cui le 183.804,48 tonnellate di stock di materiale ricavato dalla demolizione dell'edificio di Trieste vengono trattati attraverso un impianto mobile, l'aggregato riciclato che può essere riutilizzato come materia prima seconda sarà inferiore dello 0,17% rispetto al materiale in entrata, dunque questo sarà pari a 183.492 tonnellate a causa dell'efficienza di trattamento considerata che genera dunque un quantitativo di rifiuti da smaltire in discarica pari a 314 tonnellate.

3.7.6 *Analisi d’inventario: dati per la produzione di moduli Wafeer con aggregato naturale e riciclato*

Per valutare gli impatti evitati dalla produzione di moduli per il ripopolamento della flora e fauna marina e contro l’erosione delle coste, con una percentuale di materiale riciclato dai rifiuti da C&D dell’edificio rispetto alla produzione *standard* con solo materiale naturale, in primo luogo bisogna definire il quantitativo di materiale dello stock considerato in questo studio che rimane dopo che una frazione è stata valorizzata nella realizzazione del sottofondo stradale.

3.7.6.1 *Quantificazione del materiale necessario per la sopraelevazione della strada*

Uno dei progetti di riqualificazione dell’area del Porto Vecchio di Trieste consiste nella sopraelevazione di un metro e mezzo di altezza dal presente fondo stradale attraverso l’utilizzo di aggregato riciclato come materiale di riempimento del sottofondo stradale. Dunque, la realizzazione di quest’ultimo comprenderà uno strato di 1 metro di materiale stabilizzato grosso, che non richiede particolari vagliature e trattamenti, per il rialzamento e uno strato di 0,40 centimetri di stabilizzato sempre con aggregato riciclato, di pezzatura da 20/40 mm.

La lunghezza della strada è di 550 metri, mentre la larghezza della carreggiata è di 10 metri.

Ottenuti questi dati progettuali si riesce a calcolare la quantità di materiale inerte riciclato necessario:

Dati strada		
Larghezza	10	m
Spessore	1,4	m
Lunghezza	550	m
Volume	7700	m ³
Agg. Riciclato	13860	ton

Tab.3.7 Quantificazione delle tonnellate necessarie per il riempimento stradale attraverso le misure geometriche di progetto.

3.7.6.2 Processi e quantificazione della produzione dei moduli per il ripopolamento e la protezione delle coste

Considerando che lo stock di materiale demolito è di 183.80448 tonnellate, utilizzando parte di questo materiale per il sottofondo dell'infrastruttura stradale, restano a disposizione 169.944,48 tonnellate di rifiuti inerti trattati nell'impianto per essere reimmessi nella catena economica, se il materiale viene trattato con un impianto fisso, dove si ottiene il 100% del recupero.

Le 169944,48 tonnellate di aggregato riciclato vengono utilizzate per la produzione di moduli a forma di parallelepipedo. Gli input e la quantità di materiali necessaria per la costruzione di 1m³ di calcestruzzo strutturato è riportata di seguito facendo riferimento a TITOLO (La Marca, 201X):

- Acqua 160 litri per 1m³ di calcestruzzo strutturato,
- Cemento, CEM II B-LL 32 5R, 300 kg per 1m³ di calcestruzzo strutturato,
- Aggregato 1890 kg per 1m³ di calcestruzzo strutturato.

Per quanto concerne la modellizzazione del processo di costruzione di 1 m³ di calcestruzzo strutturato:

per modellare il consumo di acqua è stato utilizzato il processo di *ecoinvent 3.1* da implementare nel *software* Gabi, "Europe without Switzerland: tap water production, underground water without treatment ", considerando che non è necessario l'utilizzo di acqua trattata e depurata;

per rappresentare il consumo di cemento si è utilizzato il processo di *ecoinvent* "EU (no Swi): market for cement Portland", considerando che il cemento utilizzato nella ricerca è CEM II B-LL 32 5R, dove la sigla CEM II indica il tipo, questi vengono denominati Portland di miscela in quanto il costituente presente in maggior percentuale è rappresentato dal clinker di cemento Portland in combinazione con una o più aggiunte minerali;

- per il consumo della percentuale di ghiaia e sabbia naturale dalle operazioni di estrazione in cava necessario per la miscela è stato utilizzato il processo di *ecoinvent* "Sand {RoW}| gravel and quarry operation | APOS, S",

- infine, per quantificare gli impatti sottratti all'ambiente grazie al riutilizzo dei rifiuti prodotti da C&D in sostituzione alle risorse non rinnovabili, è stato costruito un processo *ad hoc*, invertendo gli output di quello che simula il consumo di ghiaia e sabbia naturale prodotta dalle operazioni di estrazione in cava: "Sand {RoW}| gravel and quarry operation | APOS, S".

Nell'ipotesi di costruire i diversi tipi di dissuasori con il 15% del totale di aggregato riciclato prodotto dai rifiuti da demolizione dell'edificio, abbiamo bisogno di conoscere i volumi dei tipi dei moduli presi in esame. I risultati ottenuti sono descritti nel capitolo dedicato alla valutazione degli impatti ambientali dei moduli esaminati. (4.4.3.). In generale risulta che dalla quantità di aggregato riciclato disponibile, si ottiene il numero di moduli riportati in tabella:

Modello	Num.
Piastre	8670636
Blocco cubico	85942
Dissuasore tetrapedo	95151
Dissuasore trapezoidale	315500
Modulo Wafeer	92223

Tab.3.8 Numero dei vari modelli di dissuasori che possono essere prodotti con 169944 tonnellate di aggregato riciclato valorizzate con impianto fisso.

Nel caso in cui il rifiuto da trattare venisse valorizzato attraverso un impianto mobile, che produce una minima quantità di scarto, l'aggregato riciclato a disposizione per la produzione di moduli risulterebbe inferiore di 312.47 tonnellate e sarà dunque pari a 169.632 tonnellate che permetteranno invece la produzione di:

Modello	Num.
Piastre	8654694
Blocco cubico	85784
Dissuasore tetrapedo	94976
Dissuasore trapezoidale	314921
Modulo Wafeer	92053

Tab.3.9 Numero dei vari modelli di dissuasori che possono essere prodotti con 169632 tonnellate di aggregato riciclato valorizzate con impianto mobile.

3.8 Fattore di sostituzione

Grazie alla valutazione del fattore di sostituzione si riescono a determinare gli impatti ambientali evitati conseguenti all'utilizzo degli aggregati riciclati prodotti dal recupero di rifiuti C&D in sostituzione alle materie prime, e in che misura questi vengono utilizzati per le diverse applicazioni d'uso previste.

Ad oggi gli aggregati riciclati sono per lo più utilizzati nella costruzione degli strati del corpo del rilevato e dei sottofondi, e in minima parte anche per gli strati drenanti. Inoltre, sono stati identificati quali sono gli utilizzi degli aggregati riciclati che vengono prodotti in alcuni impianti in esame e quindi quali sono le materie prime vergini che vengono sostituite con essi nelle applicazioni nel settore delle costruzioni civili e stradali.

È emerso che, in base all'utilizzo, l'aggregato riciclato può sostituire il mistone naturale oppure aggregato naturale (sabbia e ghiaia), in particolare:

- 1) per gli usi nel corpo del rilevato e nei sottofondi (C1/C2) sostituisce il mistone naturale;
- 2) per l'uso negli strati di fondazione (C3) sostituisce sabbia o ghiaia;
- 3) per l'uso in ripristini ambientali come i riempimenti (C4) sostituisce mistone naturale;
- 4) per l'uso in strati accessori (C5) sostituisce l'aggregato naturale (ad esempio se è utilizzato negli strati drenanti, il materiale sostitutivo potrebbe essere una ghiaia grossolana oppure uno spaccato);
- 5) nella produzione di calcestruzzi a bassa resistenza sostituisce sabbia fine lavata oppure ghiaia fine.

Dai dati raccolti sulle produzioni di questi aggregati negli impianti, in base al loro utilizzo, si è riscontrato che ad oggi gli aggregati riciclati sono quasi tutti destinati ad utilizzi legati alla costruzione del corpo del rilevato e dei sottofondi e/o alle operazioni di ripristino ambientale, andando quindi ad evitare l'impiego del solo mistone naturale.

Anche nel nostro caso studio, si considera l'utilizzo descritto nei punti 1) e 3) per quanto riguarda l'operazione di sopraelevazione della strada nell'area portuale, mentre per quanto concerne la produzione di calcestruzzo strutturato per i moduli per il ripopolamento, l'utilizzo è descritto dal punto 5) e dunque, si andrà a sostituire un aggregato naturale più raffinato e maggiormente trattato rispetto al mistone naturale.

3.8.1 Metodi per il calcolo del fattore di sostituzione

I metodi a disposizione per il calcolo del fattore di sostituzione tra aggregati riciclati e materiali vergini sono due:

- 1) un primo metodo che si basa sulle considerazioni riguardanti le prestazioni tecniche, o meccaniche, e l'esistenza di un mercato degli aggregati riciclati (Rigamonti, 2017);

2) un secondo metodo che valuta il fattore di sostituzione sulla base dei prezzi di mercato degli aggregati riciclati e di quelli naturali, questo è uno dei metodi raccomandati nell'*ILCD Handbook*. Prevede di calcolare il fattore di sostituzione come rapporto tra il prezzo di mercato dell'aggregato riciclato e quello dell'aggregato naturale.

$$R_2 = PAR/PAN$$

Nello scenario base dell'analisi di LCA nel caso studio, è stato preso come riferimento il primo metodo.

Questo prevede di calcolare il fattore di sostituzione attraverso la formula:

$$R_1 = (Q_1 \times Q_2) \times M$$

Dove:

- R_1 è il fattore di sostituzione calcolato con il primo metodo,
- il primo termine, Q , tiene conto della qualità e delle caratteristiche prestazionali dell'aggregato nell'applicazione d'uso considerata. Nello specifico:
 - Q_1 rappresenta le caratteristiche qualitative dell'aggregato riciclato intese come "pulizia", ovvero la presenza o meno di impurezze, quali terra, legno, plastiche etc., che ne riducono il grado di qualità e ne determinano una minore appetibilità sul mercato. È stato visto che se un aggregato riciclato contiene un elevato contenuto di terra, l'utilizzatore finale tende a non utilizzarlo, sia per evitare di avere maggiori difficoltà durante la posa in opera del materiale, sia per i potenziali rischi associati a un maggior tenore di sostanze contaminanti nella componente terrosa durante i controlli in cantiere.
 - Q_2 rappresenta le prestazioni tecniche dell'aggregato riciclato riferite all'uso specifico.
- Il secondo fattore M rappresenta il fattore di mercato dei prodotti riciclati, valutato come rapporto tra la quantità di aggregati riciclati venduta da un impianto e quella prodotta. I valori che possono essere assegnati al fattore M si individuano due casi limite: il primo caso nel quale M è pari a 1 cioè quando l'impianto riesce a vendere interamente gli aggregati riciclati prodotti, oppure il caso in cui gli aggregati riciclati prodotti risultino totalmente invenduti, per cui il valore di M sarà assunto pari a 0. Questi due valori dunque, indicano gli estremi entro il quale il fattore potrà oscillare.

Quest'ultimo parametro è importante da valutare in quanto molteplici casi, anche se il materiale è di buona qualità, la diffidenza delle imprese di costruzione riguardo i materiali riciclati fa in modo che questi restino invenduti all'interno delle imprese di trattamento e valorizzazione.

Per assegnare il valore al fattore di sostituzione nel nostro caso studio sono state fatte queste assunzioni:

- I rifiuti prodotti dall'attività di demolizione sono da considerarsi tutti di buona qualità in quanto si ipotizza di compiere una demolizione selettiva nel quale vengono separati tutti i materiali che rendono impuro il riciclo. Per questo motivo assegniamo al fattore Q_1 il valore massimo 1.
- Quando l'aggregato riciclato è conforme agli Allegati C1 e C2⁴ e viene utilizzato nelle costruzioni stradali, la prestazione finale raggiunta dallo strato finito risulta del tutto paragonabile a quella degli aggregati naturali (mistone naturale). Per questo motivo nel nostro contesto il fattore Q_2 , che esprime le prestazioni tecniche dell'aggregato riciclato, nel nostro caso può essere uguagliato ad 1, cioè pari alla massima prestazione.
- Per quanto riguarda, invece il fattore M , si ipotizza che materiale conferito in impianto sarà interamente riutilizzato e quindi il valore di questo sarà anch'esso pari a 1.

Si può concludere dunque, che ogni scenario presentato nel caso studio considera il fattore di sostituzione pari a 1.

3.9 Raccolta dati dell'inventario

Una volta conclusa la raccolta dei dati e i calcoli necessari per la quantificazione dei flussi in ingresso e in uscita dal sistema, si possono rappresentare tutti i flussi riferiti ad 1 tonnellata di materiale e ai processi che descrivono i trasporti in modo generico (Tab.3.10). Nella Tab.3.11 sono rappresentati invece i flussi del caso studio specifico di Trieste completo del trattamento di valorizzazione con l'impianto mobile e la

⁴ Requisiti tecnici stabiliti dall'Allegato C1 e C2 della Circolare Ministeriale n.5205/2005. Allegato C1 riferito a l'uso degli aggregati riciclati nella realizzazione del corpo di rilevati, Allegato C2 per l'uso degli aggregati riciclati nella realizzazione di sottofondi stradali.

produzione di moduli Wafeer® con il materiale in eccesso da quello utilizzato per il riempimento stradale.

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
Stoccaggio		<i>ad hoc</i>		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	0,11 l/t
Trasporti dei rifiuti C&D e AR		ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	t*km
Valorizzazione C&D	Impianto fisso	<i>ad hoc</i>		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	0,25 l/t
	Consumo EE	ecoinvent	Electricity, medium voltage (IT) / market for	1,13 kWh/t
	Prodotto evitato	<i>ad hoc</i>	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	ton
	Impianto mobile	<i>ad hoc</i>		
	Consumo gasolio		Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	0,64 l/t
	Consumo acqua		Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1,56 l/t
	Scarto	<i>ad hoc</i>	Scarto e Trasporto in discarica da impianto	
	*Trattameto	ecoinvent	*RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill	0,17%
	*Trasporto	ecoinvent	*Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	t*40km
Costruzione Modulo	Cls strutturale	<i>ad hoc</i>		
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	160 l/m³
	Consumo Cemento	ecoinvent	EU(no Swi):market for cement Portland	300 kg/m³
	Consumo Aggregato	ecoinvent	Sand {RoW} gravel and quarry operation APOS, S	1606.5 kg/m³
	Impatto evitato	<i>ad hoc</i>	Impatto evitato AR	238,5 kg/m³
Conferimeto in discarica		<i>ad hoc</i>		
	Trattamento	ecoinvent	RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill	ton
	Trasporto	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	t*km

Tab.3.10 Processi del database ecoinvent e processi costruiti ad hoc utilizzati per modellizzare dell'analisi LCA e corrispondenti valori espressi per una tonnellata di rifiuto C&D e 1 m³ di cls strutturato

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore scenario	UM
Stoccaggio		<i>ad hoc</i>			
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	675297,6595	[MJ]
Valorizzazione C&D	Impianto mobile	<i>ad hoc</i>			
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	3928994,304	[MJ]
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	286734,9888	[kg]
	Scarto	<i>ad hoc</i>	Scarto e Trasporto in discarica da impianto		
	*Trattameto	ecoinvent	*RoW: treatment of inert wast, sanitary landfill	312470	[kg]
	*Trasporto	ecoinvent	*Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	12498800	[tkm]
	Prodotto evitato	<i>ad hoc</i>	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	183492,01	[ton]
Trasporto AR in cantiere strada		ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	138600	[tkm]
Trasporto AR in produzione moduli		ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	1699444,8	[tkm]
Produzione moduli	Cls strutturale	<i>ad hoc</i>			
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	95735878,66	[kg]
	Consumo Cemento	ecoinvent	EU(no Swi):market for cement Portland	179504772,5	[kg]
	Consumo Aggregato	ecoinvent	Sand {RoW} gravel and quarry operation APOS, S	961248056,7	[kg]
	Impatto evitato	<i>ad hoc</i>	Impatto evitato AR	169632010	[kg]

Tab.3.11 Processi del database ecoinvent e processi costruiti ad hoc utilizzati per modellizzare lo scenario base di Trieste dell'analisi LCA e corrispondenti valori espressi per 183804 tonnellate di rifiuto C&D, 13860 tonnellate di AR per il sottofondo stradale e 169632 tonnellate per la produzione di moduli Wafeer.

3.10 Scenari alternativi confrontati

Per giungere allo scenario base rappresentativo della gestione dei rifiuti prodotti dalla demolizione dell'edificio nell'area portuale di Trieste e della produzione dei dissuasori di forma parallelepipedica, sono stati prima confrontati diversi scenari in termini di impatti ambientali, di consumo di risorse energetiche e di consumo di risorsa naturale

non rinnovabile (sabbia e ghiaia), in modo da poter individuare le azioni migliori per ridurre i carichi ambientali del nostro caso studio.

Gli scenari presi in considerazione sono:

S1) Valorizzazione in impianto mobile, senza considerare la fase di stoccaggio dei rifiuti e i trasporti in uscita dall'impianto del materiale.

S2) Valorizzazione in impianto fisso, senza considerare la fase di stoccaggio dei rifiuti e considerando una distanza minima di 5 km per il trasporto necessario per il conferimento ma senza considerare il trasporto in uscita dall'impianto del materiale.

S3) Best Case: trattamento in impianto mobile, senza considerare la fase di stoccaggio ma considerando il trasporto di aggregati riciclati in uscita dall'impianto con una distanza media di 5 km.

S4) Worst Case: in questo scenario si considera il trattamento dei rifiuti C&D in un impianto fisso localizzato ad una distanza massima sia dal luogo della demolizione, pari a 35 km, sia dal luogo di utilizzo dell'aggregato riciclato, considerato distante 30 km.

S5) Caso Trieste_Impianto Mobile: lo scenario descrive la valorizzazione di 1 tonnellata di rifiuti da C&D con un impianto mobile trasportato nel luogo della demolizione e il trasporto di questi per l'utilizzo nel luogo di cantierizzazione della strada posto ad una distanza di 2 km

S6) Caso Trieste_ Impianto Fisso: nel caso in cui si volesse valorizzare il materiale ottenuto dalla demolizione dell'edificio nel Porto Vecchio di Trieste in un impianto fisso, lo scenario considera i trasporti necessari per il conferimento di C&D e i trasporti in uscita degli AR. L'impianto si trova ad una distanza di 6 km dal luogo della demolizione e a 10 km dal luogo dove l'aggregato riciclato viene utilizzato come sottofondo stradale per la sopraelevazione.

S7) l'ultimo scenario descrive il **conferimento** dei rifiuti **in discarica** posta a 40 km dal luogo di demolizione dell'edificio.

Descritti gli scenari presi in considerazione per effettuare le valutazioni degli impatti, è possibile descrivere i confronti che sono stati analizzati.

- 1) **Analisi degli impianti**: in primo luogo, per comprendere quale delle due tecnologie consente di ottenere le migliori prestazioni ambientali è stato confrontato lo scenario S1, nel quale si considera 1 tonnellata di rifiuti da C&D trattata in impianto mobile con lo scenario S2, che descrive la valorizzazione di 1 tonnellata di C&D in impianto fisso. Dunque, per rendere maggiormente generica l'analisi e far sì che possa essere utilizzata anche per ulteriori valutazioni, l'unità

funzionale in questo contesto non sarà rappresentata dalla quantità totale di stock che caratterizza l'edificio ma da una sola tonnellata di rifiuti C&D rappresentativa.

I processi confrontati sono costituiti dai seguenti flussi:

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S1: Valorizzazione 1 ton C&D in Impianto mobile (senza alcun trasporto)		ad hoc		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	21,4 MJ
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1,56 kg
	Scarto	ad hoc	Scarto e Trasporto in discarica da impianto	1 pcs.
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	998 kg
Modelli				
	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S2: Valorizzazione 1 ton C&D in Impianto fisso (trasporto in impianto: 5km)		ad hoc		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	8,35 MJ
	Consumo EE	ecoinvent	Electricity, medium voltage (IT) / market for	4,07 MJ
	Trasporto C&D in entrata	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	5 tkm
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	1000 kg

Tab.3.12 Processi utilizzati per modellare la valorizzazione di 1 tonnellata di rifiuti C&D in impianto fisso e mobile

2) **Analisi dei trasporti:** per valutare l'effettiva incidenza che hanno i trasporti all'interno del caso studio si è scelto di confrontare gli scenari S3 e S4. Il primo è definito *Best Case* in quanto si ipotizza di valorizzare il materiale derivante dalla demolizione direttamente presso il cantiere attraverso l'utilizzo dell'impianto mobile e di conferire gli aggregati riciclati nel luogo dove avvengono attività di riconversione e riqualificazione nei pressi del cantiere, assumendo che la distanza sia di 5 km. Il secondo scenario S4 è definito *Worst Case* per quanto riguarda i trasporti in quanto si considera di valorizzare i rifiuti C&D in un impianto fisso molto distante sia dal cantiere di demolizione che da quello di riqualificazione. Anche in questo caso l'unità funzionale è 1 tonnellata di materiale inerte proveniente da C&D per rendere il caso più generale possibile.

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S3: Valorizzazione 1 ton C&D in Impianto mobile Best Case		ad hoc		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	21,4 MJ
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1,56 kg
	Trasporto AR in uscita	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	5 tkm
	Scarto	ad hoc	Scarto e Trasporto in discarica da impianto	1 pcs.
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	998 kg
Modelli				
	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S4: Valorizzazione 1 ton C&D in Impianto fisso Worst Case		ad hoc		
	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	8,35 MJ
	Consumo EE	ecoinvent	Electricity, medium voltage (IT) / market for	4,07 MJ
	Trasporto C&D in entrata	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	35 tkm
	Trasporto AR in uscita	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	30 tkm
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	1000 kg

Tab.3.13 Processi utilizzati per la rappresentazione del caso in cui si tratta 1 tonnellata di rifiuti C&D con impianto fisso con condizioni di max distanza e con impianto mobile con condizioni di minima distanza

- 3) Per definire quale impianto di trattamento utilizzare nella nostra analisi di base, si è deciso di creare i due scenari S5 e S6, che considerano anche i trasporti dei materiali inerti con le distanze assunte del caso studio specifico di Trieste.

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S5: Valorizzazione 1 ton C&D		ad hoc		
in Impianto mobile	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	21,4 MJ
Caso Trieste	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1,56 kg
	Trasporto AR in uscita	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	2 tkm
	Scarto	ad hoc	Scarto e Trasporto in discarica da impianto	1 pcs.
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	998 kg
Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore
S6: Valorizzazione 1 ton C&D		ad hoc		
in Impianto fisso	Consumo gasolio	ecoinvent	Diesel, burned in building machine (GLO)/processing.	8,35 MJ
Caso Trieste	Consumo EE	ecoinvent	Electricity, medium voltage (IT) / market for	4,07 MJ
	Trasporto C&D in imp. +			
	Trasporto AR in uscita	ecoinvent	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}	16 tkm
	Prodotto evitato	ad hoc	Impatto evitato estrazione 1 ton mistone	1000 kg

Tab.3.14 Processi utilizzati per la rappresentazione del caso in cui si tratta 1 tonnellata di rifiuti C&D con impianto fisso e mobile con i trasporti riferiti al caso specifico di Trieste

- 4) Infine, è stato compiuto il confronto tra i blocchi o moduli di dissuasori costruiti con il 15% di aggregato riciclato rispetto a quelli formati solo da aggregato naturale, avendo calcolato in primo luogo le masse riferite alle percentuali di materiale aggregato, di cemento e acqua che costituiscono la miscela di calcestruzzo per poi fare il confronto per tutti i cinque differenti moduli presi in esame. Si riportano in tabella 3.15 i processi utilizzati per simulare i flussi in input di un modello di dissuasore. L'unità funzionale dei confronti effettuati è rappresentata dalla costruzione di 1 piastra o modulo considerato.

Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore	UM
Costruzione 1 modulo Wafeer con il 15% di AR		ad hoc			
	Consumo 85% AN	ecoinvent	RoW: gravel and sand quarry operation	1044,25	kg
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1040	kg
	Consumo CEM	ecoinvent	EU (no Swi): market for cement Portland	1950	kg
	Prodotto evitato (15%AR)	ad hoc	Impatto evitato AR_1mc di cls	6,5	pcs.
Modelli	Descrizione	Origine del processo	Nome del processo	Valore	UM
Costruzione 1 modulo Wafeer con 100% AN		ad hoc			
	Consumo 100% AN	ecoinvent	RoW: gravel and sand quarry operation	12285	kg
	Consumo acqua	ecoinvent	Europe (no Swi): tap water prod., underg. water without treat.	1040	kg
	Consumo CEM	ecoinvent	EU (no Swi): market for cement Portland	1950	kg

Tab.3.15 Processi per la rappresentazione di un modulo Wafeer con il 15% di AR e uno costruito con il 100% di aggregato naturale

4. Risultati dell’LCA - Valutazione degli impatti

Nella fase di valutazione degli impatti ambientali sono classificate e caratterizzate le emissioni calcolate durante l’analisi d’inventario. Come specificato nel capitolo 3.6, è stato utilizzato come metodo di impatto l’*Environmental Footprint* (EF) nella sua versione 3.0, quindi gli impatti sono stati valutati rispetto alle categorie e attraverso i modelli di caratterizzazione suggeriti dallo stesso. Ai fini dell’interpretazione, inoltre, i risultati ottenuti sono stati normalizzati seguendo il modello EF 3.0 (*Person equivalents*).

Di seguito sono descritti i risultati degli impatti ottenuti dallo scenario complessivo del caso studio di Trieste. Successivamente, per comprendere le decisioni progettuali adottate, sono descritti i risultati dei confronti fatti tra gli scenari considerati.

4.1 Risultati scenario di base

Nello scenario di base del caso studio di Trieste sono descritte le fasi di:

- Stoccaggio del materiale demolito, equivalente all’unità funzionale (183.804 tonnellate);
- Valorizzazione con impianto mobile (considerando anche il contributo degli impatti per l’estrazione di materia prima vergine evitati) e il trasporto, pari a 2 km, dell’aggregato riciclato utilizzato per l’operazione di riempimento stradale (13.860 ton);
- Trattamento con impianto mobile (non considerando gli impatti evitati) dell’eccesso di rifiuti inerti prodotti dalla demolizione dell’edificio del Porto Vecchio di Trieste, pari a 169.632 tonnellate. Si considera il trasporto per il conferimento del materiale trattato all’azienda di produzione di moduli antierosione pari a 10 km;
- Produzione di questi ultimi (92.053 moduli) con la componente riciclata a disposizione.

La figura 4.1 rappresenta il diagramma di flusso dello scenario completo considerando i flussi precedentemente descritti.

Scenario di base caso studio_Porto Vecchio Trieste

Process plan:Reference quantities

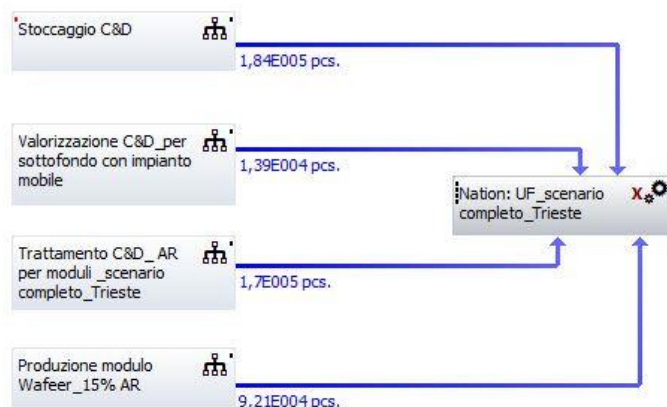


Fig. 4.1 Diagramma di flusso dello scenario di base del caso studio preso in analisi

Attraverso la fase di caratterizzazione si ottengono così gli impatti riferiti a ciascuna categoria del metodo EF 3.0; nella tabella 4.1 e nelle ulteriori analisi saranno riportate e valutate solo alcune delle categorie d’impatto del modello, sono state infatti escluse le categorie che hanno alla base modelli meno solidi e che dunque determinano risultati meno affidabili dal punto di vista scientifico (es. tossicità umana)

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	4,26E+05
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	1,67E+08
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	9,38E+08
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	1,36E+04
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	1,13E+05
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	1,27E+06
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	7,93E+06
Uso del suolo	[Pt]	2,27E+08
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	6,82
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	3,32E+05
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	8,64E+08
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	84,2
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	6,72E+07

Tab. 4.1 Risultati della caratterizzazione dello scenario di base

Per poter confrontare gli impatti ottenuti per le diverse categorie, si ricorre alla normalizzazione (EF 3.0, *Person equivalent*), con la quale è possibile esprimere i risultati tramite un indicatore adimensionale per ciascuna categoria (nella figura 4.2). Da questi ultimi si può notare come lo scenario abbia un impatto considerevole sulle radiazioni ionizzanti, sull'ecotossicità nelle acque dolci, sul cambiamento climatico e sull'impoverimento delle risorse energetiche.

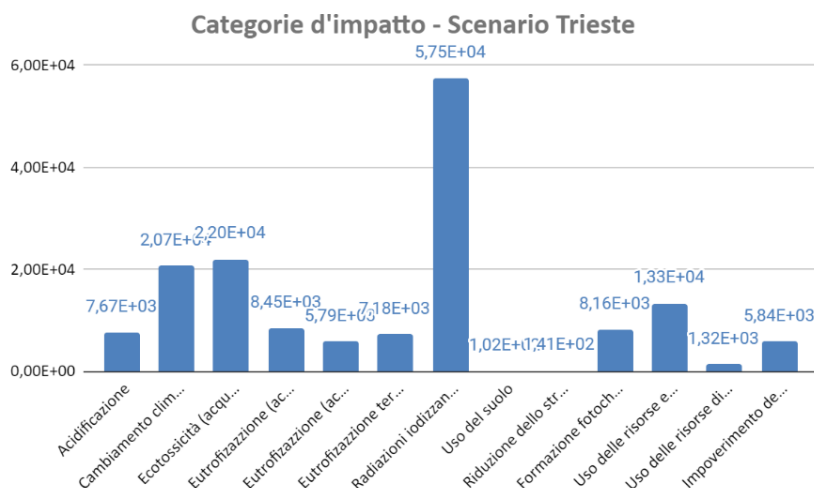


Fig. 4.2 Risultati in caratterizzazione di ciascuna categoria d'impatto dello scenario di base del Porto Vecchio di Trieste

Nonostante gli impatti evitati grazie alla valorizzazione delle materie prime seconde impiegate dalle attività di riqualificazione stradale e nella produzione di moduli antiriosione, in generale i valori degli impatti ottenuti sono rilevanti. Dalla valutazione dei singoli contributi del sistema, rappresentata nella figura 4.3, si comprende che il 99,5% della produzione di CO₂ equivalente appartiene al processo che descrive la produzione di moduli per il ripopolamento della flora e fauna marittima, lo 0,55% riguarda il processo di trattamento per la porzione di rifiuti che saranno valorizzati in aggregato riciclato per i moduli e solo lo 0,06% rappresenta l'impatto che si evita grazie all'utilizzo di materiale riciclato al posto del mistone naturale per il riempimento stradale.

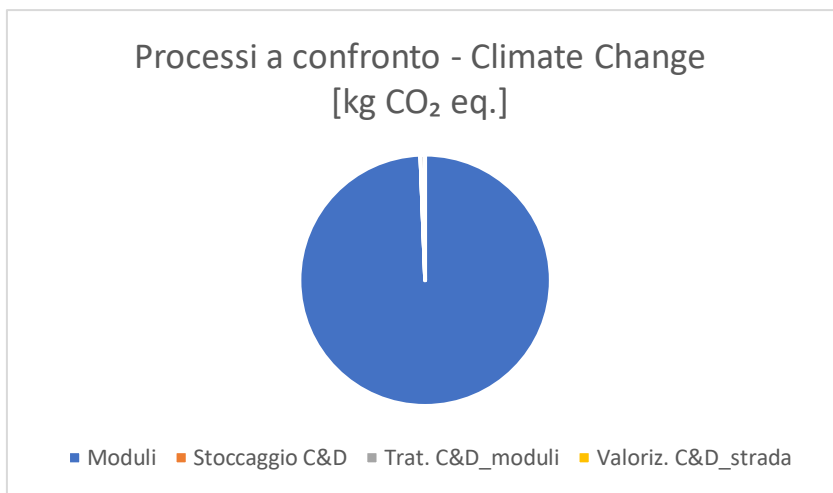


Fig.4.3 Confronto tra l'emissione di kg CO₂ eq. Tra i processi che compongono il sistema di base in analisi

Analizzando i flussi in entrata del processo di produzione dei moduli, si è riscontrato che la generazione della maggior parte di kg di CO₂ eq. è prodotta dalla produzione di cemento Portland, che costituisce circa il 13% della miscela di calcestruzzo strutturato; quest'ultimo deve soddisfare le prestazioni richieste dalla normativa, nonché possedere le caratteristiche necessarie all'ottenimento marchio CE.

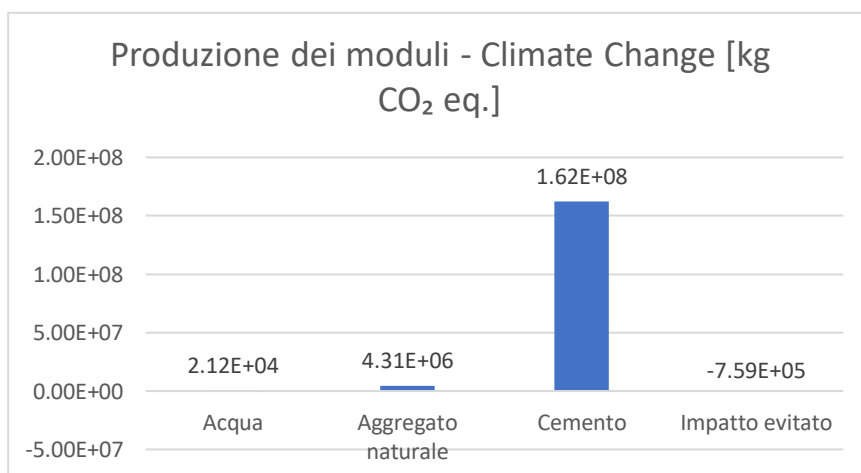


Fig. 4.4 Contributi dei flussi in entrata per la produzione dei moduli nella categoria di impatto *Climate Change*

Il processo che descrive la produzione del cemento considera i carichi ambientali riferiti alle fasi iniziali di vita del prodotto: dalla fase di estrazione di ghiaia e sabbia naturale dalle cave, fino alla sua produzione, la quale richiede un sostanziale consumo di risorse energetiche. In particolar modo, si riscontrano dei valori elevati per quanto riguarda le

categorie d'impatto ecotossicità delle acque dolci, uso delle risorse energetiche, uso del suolo e cambiamenti climatici.

Si prendono ora in considerazione i processi di valorizzazione dei rifiuti prodotti da C&D e riutilizzati come sottofondo stradale e quello di trattamento dei restanti rifiuti, di quantità molto più elevata rispetto al primo.

Confrontando i risultati ottenuti si riesce a comprendere a pieno la differenza tra il concetto di valorizzazione e quello di trattamento dei rifiuti inerti. Nel momento in cui i rifiuti prodotti da una demolizione, come nel nostro caso, vengono trattati attraverso impianti fissi o mobili, il rifiuto diviene materia prima seconda e l'aggregato riciclato in uscita dall'impianto ha terminato il processo di trattamento, ma non quello di valorizzazione. Si parla di valorizzazione, infatti, nel momento in cui l'aggregato riciclato viene acquistato o reinserito nel ciclo economico riutilizzandolo per altre funzioni, come mistone per sottofondi stradali o produzione di calcestruzzo strutturato come nello scenario studiato.

Per questo motivo il confronto tra i due scenari in analisi produce impatti non concordi anche a causa dello scarto tra la quantità di materiale trattato e quello valorizzato: le tonnellate valorizzate rappresentano il 7,5% dello stock di materiale prodotto dalla demolizione dell'edificio del Porto Vecchio di Trieste, mentre i risultati degli impatti prodotti nel processo di trattamento rappresentano il 92,5%. Si ha, dunque, una produzione di $9,14E+05$ kg di CO₂ eq. nel trattamento di 169.632 tonnellate di materiale inerte da C&D con impianto mobile e trasporto per 10 km dell'aggregato in uscita fino all'azienda di produzione dei moduli, mentre si ha un impatto evitato di $9,71E+04$ kg di CO₂ eq. per la valorizzazione di 13.860 tonnellate di C&D e il trasporto per 2 km di questo fino al luogo di cantierizzazione.

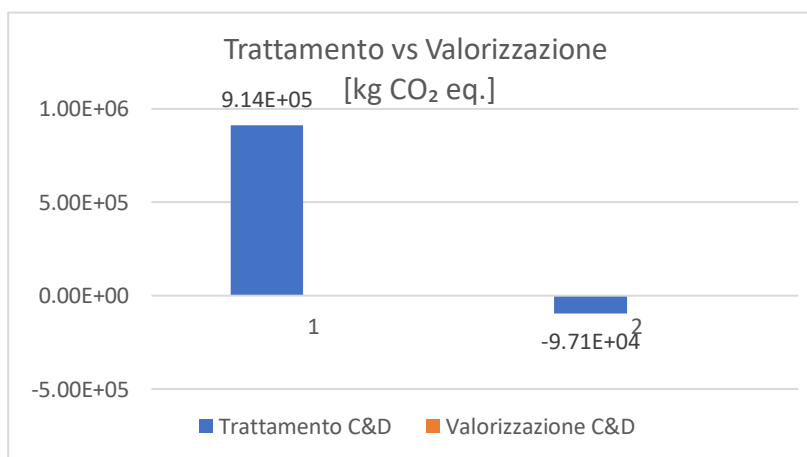


Fig. 4.5 Confronto dei risultati caratterizzanti la categoria d'impatto *Climate Change* tra i processi di Trattamento e Valorizzazione dei rifiuti da C&D

4.2 Valutazione degli impatti prodotti dagli scenari alternativi

Prima di giungere alla creazione dello scenario di base del caso studio di Trieste, come detto, si è partiti confrontando differenti scenari per comprendere come ottenere la migliore prestazione ambientale nel contesto del sistema analizzato.

4.2.1 Analisi delle diverse tecnologie di trattamento in impianti di recupero

Poiché sono disponibili due tipologie di impianto di trattamento per i rifiuti inerti provenienti da costruzione e demolizione, si è deciso di metterli a confronto, per capire quale tecnologia permetta di ottenere le migliori prestazioni ambientali. In questo primo confronto, che avviene tra lo scenario S1 e S2, si vogliono considerare esclusivamente le prestazioni dei differenti impianti, considerando solo una minima distanza (5km) per il conferimento dei rifiuti in impianto fisso, ed escludendo l'operazione di stoccaggio dall'analisi.

Dunque, in Tabella 4.2, sono confrontati gli impatti totali associati ad una tonnellata di rifiuti C&D trattata in impianti fissi alimentati ad energia elettrica, con quelli prodotti dal trattamento della medesima quantità in impianti mobili a gasolio. Nell'ultima colonna è riportata la differenza che intercorre tra le due tipologie di impianti, calcolata in termini percentuali rispetto al valore dell'indicatore ottenuto per gli impianti fissi alimentati ad energia elettrica.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	S1: Im. mobile	S2: Im.fisso	$\Delta(F-M)$ (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	-0,0496	-0,0574	16%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	-7,18E+00	-7,31E+00	2%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	-8,79E+01	-8,81E+01	0%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	-0,00159	-0,00151	-5%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	-0,0118	-0,0164	39%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	-0,131	-0,182	39%
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	-0,883	-0,821	-7%
Uso del suolo	[Pt]	-1,32E+02	-1,26E+02	-4%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	-1,11E-06	-1,20E-06	8%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	-0,0385	-0,052	35%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	-1,07E+02	-1,08E+02	1%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	-3,34E-05	-3,28E-05	-2%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv]	-63,3	-63,4	0%

Tab.4.2 Confronto degli impatti ambientali, associati al trattamento di una tonnellata di rifiuto C&D in un impianto fisso di trattamento alimentato ad energia elettrica (EE) e mobile alimentato a gasolio; differenza percentuale degli indicatori calcolata rispetto alle prestazioni degli impianti a EE.

I valori degli impatti totali ottenuti risultano essere negativi, in quanto il contributo maggiore è dato dall'impatto evitato a causa della valorizzazione del materiale inerte trattato, che permette di evitare l'estrazione di ghiaia e sabbia naturale da cava. Di conseguenza risulta doveroso precisare che il delta percentuale ha un valore positivo solo nel momento in cui l'impianto fisso ha una prestazione ambientale migliore rispetto all'impianto mobile, mentre nella condizione contraria si ha un delta negativo.

Dai risultati ottenuti si osserva che per tutte le categorie d'impatto, eccetto quella delle radiazioni iodizzanti (-7%), quella dell'eutrofizzazione di acqua dolce (-5%), e dell'uso del suolo (-4%), gli impianti fissi alimentati ad energia elettrica sono la tecnologia più performante e che impatta in maniera minore sull'ambiente. I maggiori benefici si registrano per l'eutrofizzazione terrestre (39%) e marina (39%), per la formazione fotochimica di ozono (35%), per l'acidificazione (16%) e per la riduzione dello strato di ozono (8%).

Osservando i risultati mostrati in Tabella 4.2, si nota che per quanto riguarda il risparmio delle risorse minerali naturali, l'impianto meno impattante risulta essere quello mobile (-2%). Sebbene gli impianti fissi abbiano un'efficienza di trattamento maggiore e quindi la produzione di aggregati riciclati è leggermente superiore rispetto a quella degli impianti alimentati a gasolio (mobili, che invece producono una minima percentuale di scarto inviato in discarica), tale risultato è spiegabile considerando le risorse necessarie per il conferimento in impianto del rifiuto combinato con quelle necessarie alla produzione di energia elettrica nel contesto del mix energetico utilizzato (italiano).

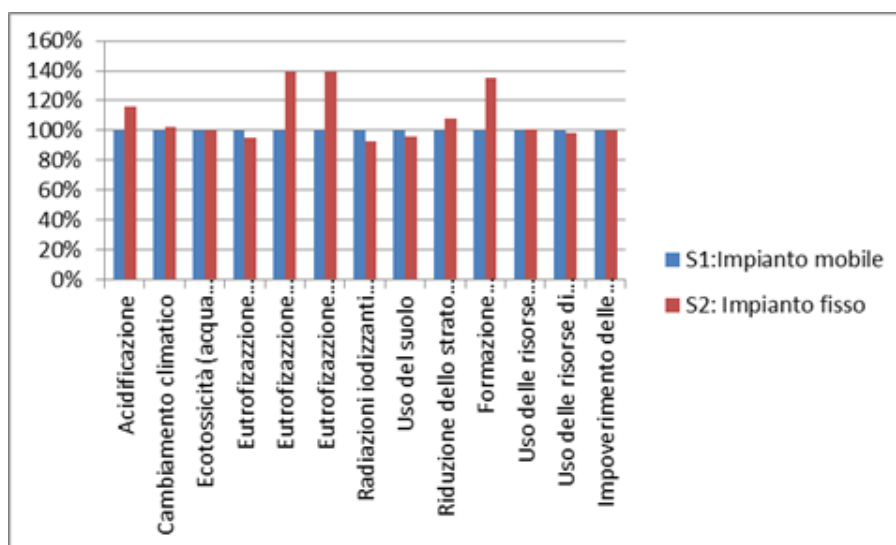


Fig.4.6 Confronto in caratterizzazione percentuale dei due scenari

Confrontando i due scenari per quanto riguarda la categoria di impatto “*Climate Change*” (Cambiamento climatico), si può osservare dal grafico 4.7 che il trattamento in impianto mobile genera una maggiore produzione di kg di CO₂ eq., anche se in modesta quantità.

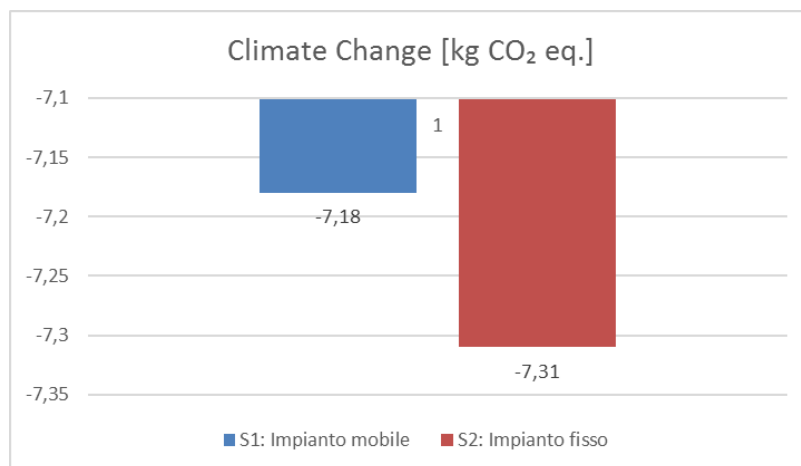


Fig.4.7 Contributi degli scenari S3 e S4 sulla categoria d’impatto *Climate Change*

Per questo motivo, e dall’osservazione fatta precedentemente sul consumo di risorse minerarie, risulta indispensabile andare ad analizzare nel dettaglio gli impatti prodotti dai singoli flussi in entrata e in uscita dei due sistemi presi in considerazione nella tabella 4.3, attraverso la normalizzazione delle categorie d’impatto, in modo da ottenere degli indicatori adimensionali facilmente confrontabili.

Categorie di impatto ambientale	Impatto Totale	Trasporto 5km	Gasolio	Elettricità	Impatto evitato
Acidificazione	-0,00103	3,40E-05	0,000148	6,21E-05	-0,00128
Cambiamento climatico	-0,000909	5,32E-05	9,92E-05	9,02E-05	-0,00115
Ecotossicità (acqua dolce)	-0,00206	0,0001	0,000135	0,000118	-0,00242
Eutrofizzazione (acqua dolce)	-0,000939	1,93E-05	1,94E-05	6,74E-05	-0,00104
Eutrofizzazione (acqua marina)	-0,000843	2,70E-05	0,000181	2,46E-05	-0,00108
Eutrofizzazione terrestre	-0,00103	3,23E-05	0,000219	2,83E-05	-0,00131
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	-0,00595	0,000271	0,00041	0,000854	-0,00748
Uso del suolo	-5,66E-05	3,63E-06	6,27E-07	5,17E-07	-6,14E-05
Riduzione dello strato di ozono	-2,48E-05	2,06E-06	3,68E-06	2,09E-06	-3,26E-05
Formazione fotochimica di ozono	-0,00128	4,67E-05	0,000262	3,85E-05	-0,00162
Uso delle risorse energetiche	-0,00166	0,000104	0,000175	0,000169	-0,00211
Uso delle risorse di minerali e metalli	-0,000515	1,47E-05	4,02E-06	3,59E-06	-0,000538
Impoverimento delle risorse idriche	-0,00551	5,39E-06	6,42E-06	1,72E-05	-0,00554

Tab.4.3 Risultati in normalizzazione dei processi che costituiscono lo scenario S2 rappresentante la valorizzazione dei materiali inerti da C&D con impianto fisso

Si noti che, non considerando il contributo che descrive l’impatto evitato, il trasporto incide nel consumo delle risorse primarie minerali e metalliche per il 63,91% rispetto

all'impatto totale causato dai flussi in entrata. Nel momento in cui non si considera l'impatto evitato dall'estrazione di materiale inerte naturale, e dunque si considera solo l'operazione di trattamento del materiale inerte, l'impianto fisso prevede un maggiore impegno di trattamento in termini di risorse che però viene compensato nel momento in cui, allargando i confini del sistema, si includono i benefici legati alla valorizzazione della materia prima seconda recuperata.

Focalizzando l'attenzione sugli impatti del processo di trattamento si spiega dunque come, nonostante l'impianto fisso abbia un rendimento maggiore del trattamento, riuscendo a recuperare il 100% dei rifiuti da C&D, il suo impatto risulti maggiore.

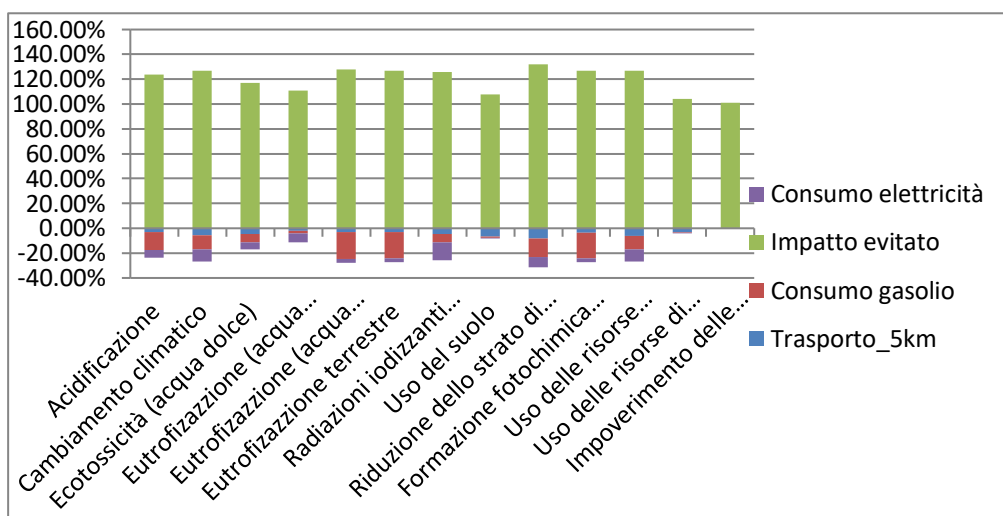


Fig.4.8 Distribuzione percentuale dei processi dello scenario S2 sulle categorie d'impatto

Se si analizzano i contributi di ogni categoria sulle varie fasi del processo di valorizzazione di una tonnellata di rifiuti C&D descritto nello scenario S1, si evince che la voce d'impatto maggiore è il consumo di gasolio, eccetto per la categoria "radiazioni iodizzanti" e ed "eutrofizzazione di acqua dolce", nella quale il contributo maggiore è dato dal consumo di elettricità.

Dai grafici che descrivono la produzione di CO₂ dei flussi complessivi in entrata al sistema si osserva come il consumo di gasolio sia il flusso più impattante, e quindi da questa analisi si può affermare che la tecnologia ambientalmente più sostenibile sia quella che vede l'utilizzo di impianti a energia elettrica per effettuare il trattamento di riciclo dei C&D. Questi impianti, a fronte di un investimento iniziale più consistente rispetto a quello che occorre per un impianto alimentato a gasolio, hanno un layout più articolato, e risultano particolarmente vantaggiosi nei casi in cui non vengano applicate procedure di demolizione selettiva in cantiere, e il rifiuto in ingresso contenga molte impurezze. Quindi, con l'obiettivo di produrre aggregati riciclati di qualità migliore e di

ridurre gli impatti ambientali indotti dal trattamento di riciclo, una possibile azione che si può intraprendere è quella di favorire o incentivare l'autorizzazione e realizzazione di impianti fissi ad energia elettrica, rappresentando questi l'opzione più vantaggiosa sia dal punto di vista ambientale che energetico.

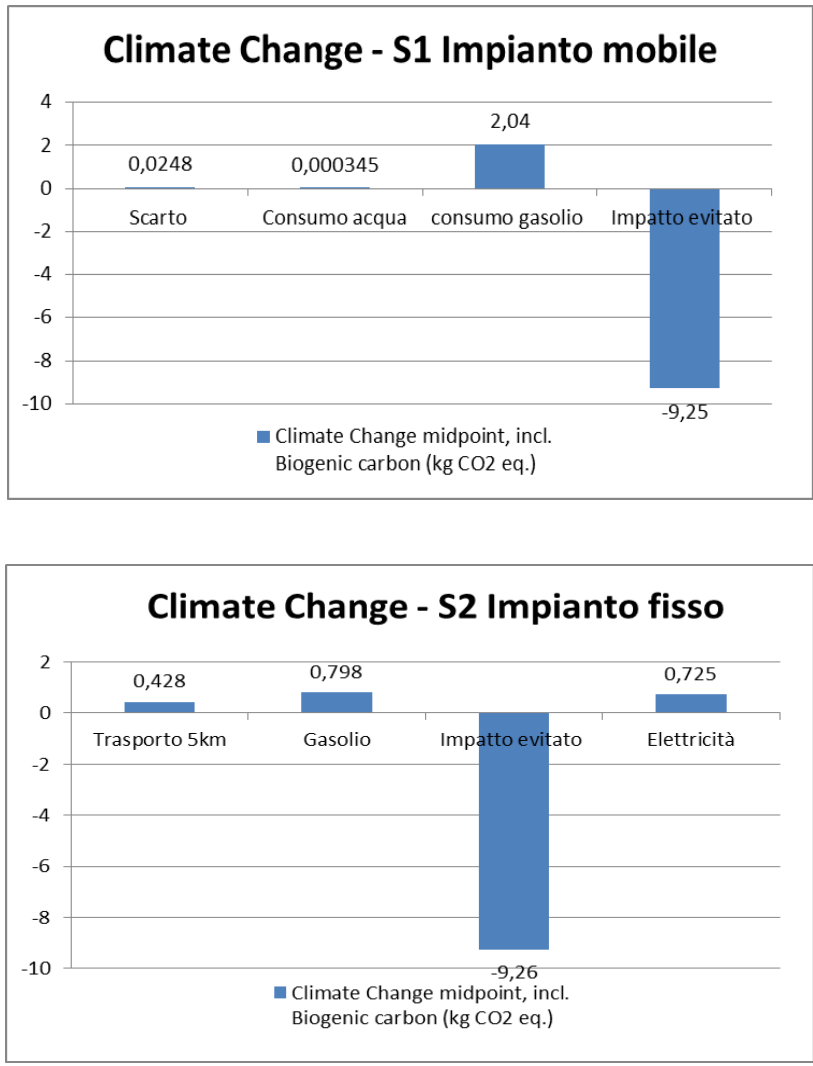


Fig.4.9 Contributi dei vari processi dello scenario S1 e S2 per quanto riguarda la categoria d'impatto "Climate Change"

4.2.2 Valutazione del confronto tra gli scenari S3, Best case e S4, Worst case

Per valutare quanto i trasporti incidano all'interno dello scenario che descrive il trattamento con l'impianto fisso alimentato ad energia elettrica, si vuole ora confrontare

la differenza fra gli impatti prodotti nel caso in cui l'impianto fisso si trovi molto lontano dall'area di produzione, e dal luogo dove è richiesto l'aggregato riciclato prodotto per ipotetiche attività di edilizia o riqualificazione, rispetto agli impatti che si produrrebbero se si utilizzasse un impianto mobile direttamente nel luogo della demolizione, come avviene nel sistema che descrive il caso studio di Trieste.

Dunque, in tabella sono riportati i valori delle diverse categorie d'impatto considerate, ottenuti dalla fase di caratterizzazione dei risultati del modello considerato.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	S3: Best Case (Im. mobile)	S4: Worst Case (Im. Fisso)	Δ (F-M) (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	-0,0477	-0,0347	-27,20%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	-6,75	-2,18	-67,70%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	-83,6	-36,8	-56,00%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	-0,00156	-0,00114	-27,10%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	-0,0113	-0,0101	-10,50%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	-0,126	-0,114	-9,60%
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	-0,845	-0,371	-56,10%
Uso del suolo	[Pt]	-124	-29,1	-76,50%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	-1,01E-06	-1,57E-09	-99,85%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	-0,0366	-0,0291	-20,30%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	-100	-27	-73,10%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	-3,25E-05	-2,15E-05	-33,70%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	-63,3	-62,6	-1,00%

Tab.4.4 Confronto degli impatti ambientali, associati al trattamento di una tonnellata di rifiuto C&D in un impianto di trattamento alimentato ad energia elettrica (EE) e a gasolio; differenza percentuale degli indicatori calcolata rispetto alle prestazioni degli impianti a EE.

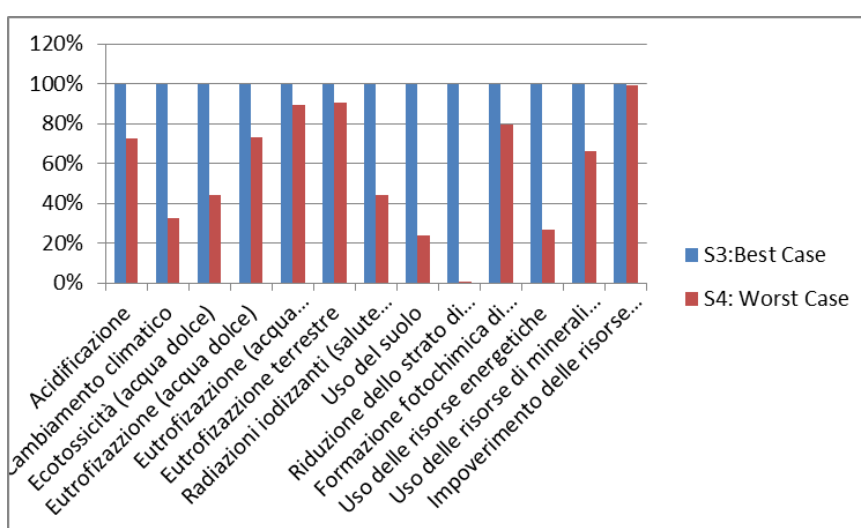


Fig.4.10 Confronto in caratterizzazione percentuale dei due scenari S3 e S4

Dalla differenza percentuale e dal grafico, che rappresenta la ripartizione dei risultati caratterizzati dei due scenari sulle diverse categorie d'impatto, è chiaro come in questo caso l'utilizzo di un impianto fisso ad una notevole distanza dall'area d'interesse abbia un impatto fortemente superiore rispetto all'utilizzo di un impianto mobile alimentato a gasolio. L'unica categoria in cui si nota un distacco minimo è rappresentata dall'impoverimento delle risorse idriche, in quanto nell'impianto alimentato a gasolio, come detto, vengono utilizzati spruzzi di acqua per evitare la propagazione delle polveri, provocate dalla triturazione e dal trattamento del materiale inerte. Al contrario nella categoria che descrive la riduzione dello strato di ozono, la differenza è notevole, pari al 99,85%. Questo risultato è dovuto alle emissioni dei principali inquinanti atmosferici prodotte dal settore dei trasporti, quali la produzione di ossidi di azoto (NOx), di composti organici volatili non metanici (COVNM), di materiale particolato (PM), di piombo (Pb), di benzene (C6H6) e di ossidi di zolfo (SOx). Gli ossidi di azoto contribuiscono alle piogge acide, all'eutrofizzazione e alla formazione dell'ozono troposferico, al riscaldamento globale e, indirettamente, alle modifiche dello strato di ozono.

Di conseguenza dunque si può notare anche l'elevata discrepanza presente tra la generazione di kg di CO₂ eq. tra i due impianti: il sistema che rappresenta il trattamento dei rifiuti C&D con l'impianto fisso evita la produzione di 2.06 kg di CO₂, mentre quello mobile, grazie al ridotto utilizzo dei trasporti, evita 6,55 kg di CO₂.

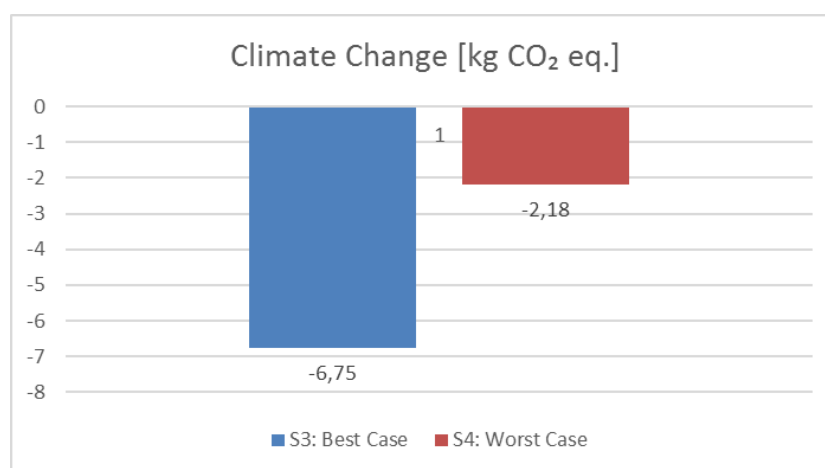


Fig.4.11 Contributi degli scenari S3 e S4 sulla categoria d'impatto *Climate Change*

Dalle differenze percentuali calcolate rispetto alle prestazioni dell'impianto alimentato ad energia elettrica, e ai trasporti da questo generato, le categorie maggiormente incidenti sono ecotossicità in acqua dolce e l'impatto sulla salute umana per la

produzione di radiazioni ionizzanti, con la differenza del 56%, l'uso del suolo (76,5%), l'uso delle risorse energetiche (73%); ed infine, si può osservare il maggior intervallo percentuale nella categoria “*Ozone depletion*” con il 99,85%.

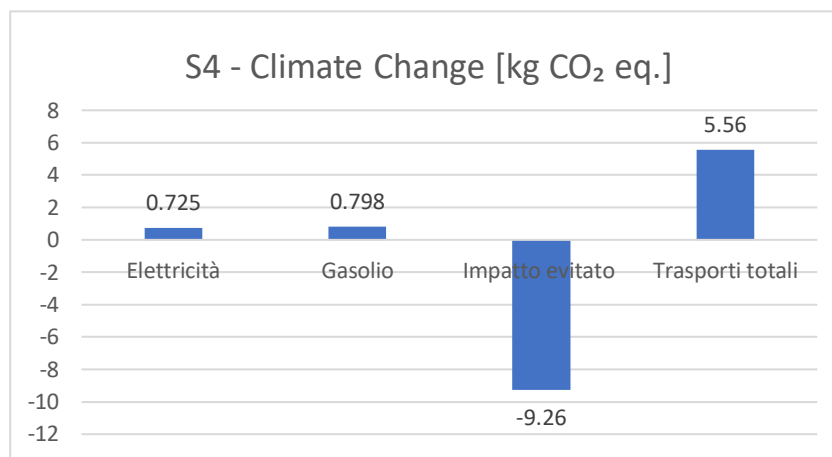


Fig.4.12 Contributi dei processi dello scenario S4-Worst Case nella categoria d'impatto *Climate Change*

Il trasporto nello scenario S4 risulta provocare un impatto del 78,5% rispetto al totale di flussi in ingresso al processo, escludendo, anche in questo caso, il contributo dell'impatto evitato. La percentuale è stata calcolata sempre rispetto alla categoria di impatto che descrive il cambiamento climatico, e quindi riferita ai kg di CO₂ eq. prodotti.

4.2.3 Calcolo della distanza di pareggio

Dalle considerazioni riguardo gli impatti causati dai trasporti nei vari scenari, si vuole ora individuare la distanza che rende gli impatti prodotti dalla valorizzazione dei rifiuti inerti attraverso un impianto mobile equivalenti a quelli prodotti da un impianto fisso, per il quale è richiesto il conferimento dei materiali all'impianto stesso.

Per raggiungere tale scopo sono stati considerati tre scenari: lo scenario S1 e S2, insieme ad un ulteriore scenario equivalente a quello descritto dall'S2, ma considerando una distanza per il conferimento dei rifiuti in impianto fisso pari a 10 km, invece dei 5 km considerati nello scenario precedente.

I calcoli descritti successivamente sono riferiti alle categorie d'impatto “*Climate Change*” (Cambiamento climatico) e “*Resources Depletion*” (Uso delle risorse minerali e metalliche), poiché sono quelle di maggior interesse per il nostro caso studio e poiché,

come vedremo nel paragrafo 4.2.4, la valorizzazione attraverso un determinato impianto non sarà maggiormente performante rispetto all'altro per ogni categoria d'impatto.

Dal confronto fatto tra lo scenario S1 e S2, elaborato nel precedente paragrafo, è risultato che l'impatto prodotto dalla valorizzazione di un impianto fisso che si trova a 5 km di distanza dal luogo di produzione di rifiuti inerti da C&D è inferiore rispetto all'utilizzo di un impianto mobile. Ma confrontando gli impatti di quest'ultimo con un impianto fisso ad una distanza superiore di 5 km il risultato si inverte. La distanza di pareggio sarà dunque compresa tra i 5 e i 10 km e per ricavarla sono stati effettuati i seguenti passaggi:

- 1) In primo luogo, si è voluto calcolare il delta che intercorre tra gli impatti prodotti dall'impianto fisso a distanza 10 km e 5 km e dall'impianto mobile e fisso a distanza 10 km (essendo quello che risulta essere comunque più impattante).
- 2) Per calcolare l'impatto prodotto per ogni chilometro, è stato diviso il delta ricavato dalla differenza dei due impianti fissi a differente distanza, diviso i chilometri che li separano (in questo caso 5 km).
- 3) Infine, per comprendere i km che devono essere sottratti dai 10 si andrà a calcolare la differenza tra l'impatto che si produce se ci si allontana di ogni km (calcolata nel punto precedente) e il delta tra l'impianto mobile e fisso a 10 km. Questo risultato, approssimato, risulta essere pari a 3,5 km.
- 4) 3,5 km sottratti ai 10 km rappresentano, quindi, la distanza ottimale di pareggio degli impatti, pari a 6,5 km.

Per averne la conferma si moltiplica l'impatto prodotto per ogni km per 1,5 km (differenza tra i 5 considerati nell'analisi e 6,5 km, distanza di pareggio), per ottenere proprio quel delta che intercorre tra l'impatto prodotto dall'impianto mobile e il fisso, considerato ad una distanza di 5 km. Ossia, si ottiene quel valore che, sommato all'impatto prodotto dall'impianto mobile, è pari all'impatto dell'impianto fisso distante 5 km.

4.2.4 Analisi degli scenari S5 e S6 riferiti al caso studio di Trieste

Per comprendere la scelta da adottare per il caso studio di base analizzato si è deciso di valutare la differenza degli impatti che si verificano se si adottassero i differenti scenari S5 o S6, considerando le assunzioni fatte nel caso studio.

Riferendoci ad una tonnellata di materiale trattato dall'impianto fisso o mobile, si ottengono gli impatti totali associati ai due scenari S5 e S6 visibili dalla tabella 4.5, insieme alla differenza percentuale che esiste tra questi, calcolata rispetto al valore dell'indicatore ottenuto per l'impianto fisso alimentato ad energia elettrica. È possibile notare come le prestazioni ambientali riferite allo scenario S5 e quindi alla valorizzazione dei materiali inerti con impianto mobile siano migliori per quanto riguarda le principali categorie d'impatto: sia ha un delta del 9% per il *Climate Change*, una differenza del 7.1% nella categoria di impatto che considera l'uso delle risorse minerali e metalliche e una riduzione del 10.8% nel consumo di risorse energetiche. Inoltre, si hanno impatti inferiori nell'uso del suolo (15.7%) e per quanto riguarda la produzione di radiazioni ionizzanti (14.9%).

Tuttavia, si hanno categorie d'impatto nel quale l'utilizzo di impianti di valorizzazione alimentati ad energia elettrica continua a produrre un impatto minore, e dunque risulta avere prestazioni migliori per quanto riguarda gli impatti sull'eutrofizzazione di acqua marina (32%) e terrestre (31%) e per la formazione fotochimica di ozono (27%). Queste discrepanze sono osservabili anche nella figura 4.13, che descrive i risultati ottenuti in caratterizzazione. Esclusi gli impatti descritti precedentemente, i valori dello scenario S6 dell'impianto fisso diminuiscono rispetto allo scenario S5, raggiungendo il massimo del 15.7% per l'uso del suolo.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	S5: Imp. Mobile	S6: Imp.Fisso	Δ (F-M)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	-0,0488	-0,0532	9,00%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	-7	-6,37	-9,00%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	-86,2	-78,7	-8,70%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	-0,00158	-0,00144	-8,70%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	-0,0116	-0,0153	32,00%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	-0,129	-0,17	31,00%
Radiazioni ionizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	-0,868	-0,738	-14,90%
Uso del suolo	[Pt]	-129	-108	-15,70%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	-1,07E-06	-9,79E-07	-8,60%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	-0,0377	-0,0478	27,00%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	-104	-93	-10,80%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	-3,31E-05	-3,07E-05	-7,10%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	-63,3	-63,2	-0,10%

Tab.4.5 Confronto degli impatti ambientali, associati al trattamento di una tonnellata di rifiuto C&D negli scenari S5 e S6 che posseggono le assunzioni fatte nel caso; differenza percentuale degli indicatori calcolata rispetto alle prestazioni dello scenario S6.

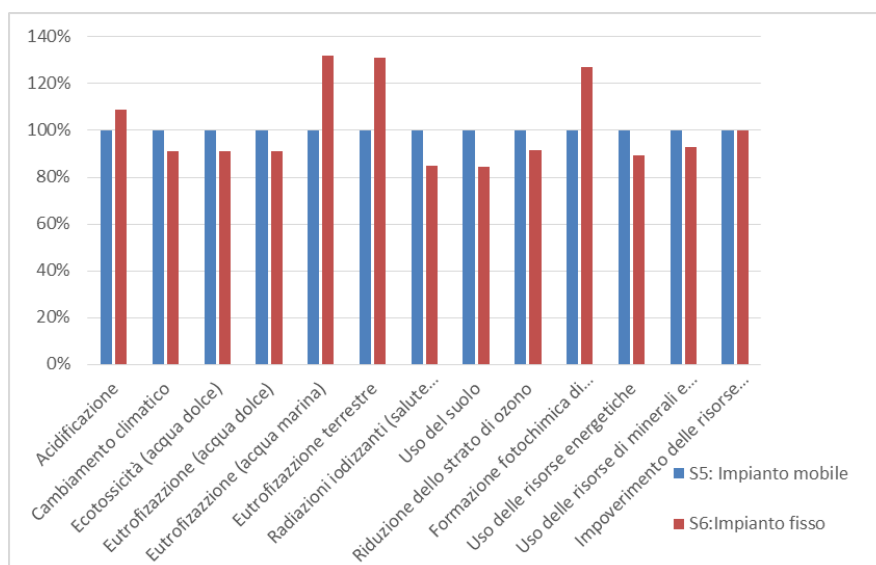


Fig.4.13 Confronto in caratterizzazione percentuale dei due scenari

Per comprendere le ragioni della nostra scelta, si va ad analizzare l'impatto relativo a ciascun flusso che compone i due processi. Si può osservare che nello scenario S5 l'impatto maggiore è dovuto al consumo di gasolio necessario ad alimentare l'impianto mobile per la valorizzazione del materiale inerte prodotto dalla demolizione, mentre si hanno impatti quasi trascurabili per quanto riguarda lo scarto, che comprende il trasporto e il trattamento in discarica del 0.17% del totale dei rifiuti, e del consumo di acqua necessaria per la gestione delle polveri. Infine, si nota che anche i trasporti in questo caso hanno un impatto davvero minimo, in quanto se si utilizza un impianto mobile la distanza considerata comprende solo i 2 km necessari per il conferimento dell'aggregato riciclato come sottofondo stradale, impiegato praticamente in loco. La produzione di CO₂ eq. è pari a 0,17 kg nel primo caso e a 1,37 kg nel secondo. Analizzando più nel dettaglio lo scenario S6, si nota che il modesto impatto prodotto dal consumo di energia elettrica è superato da quello di diesel, che viene comunque utilizzato nell'impianto fisso.

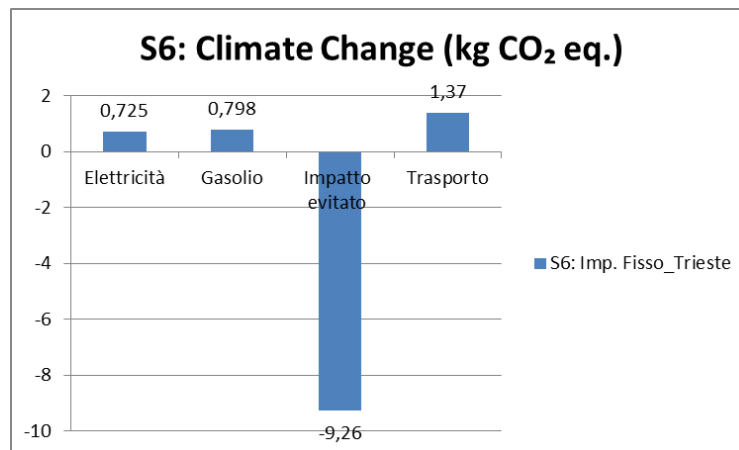
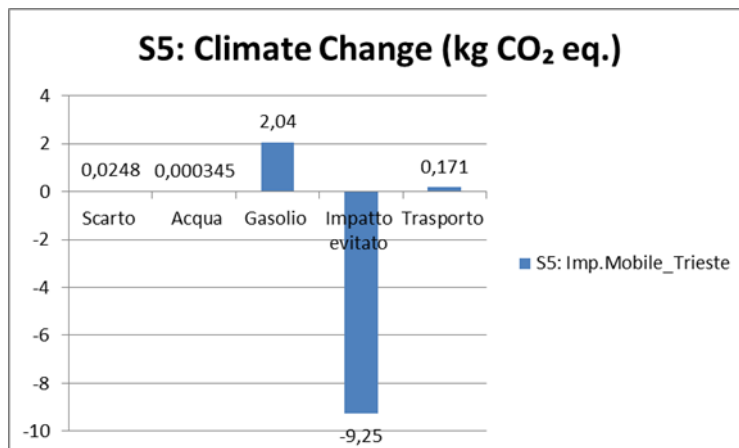


Fig.4.14 Contributi dei vari processi dello scenario S5 e S6 per quanto riguarda la categoria d'impatto "Climate Change"

L'insieme di queste considerazioni fanno sì che in questo contesto specifico si opti per un impianto mobile, poiché è conveniente operare direttamente presso il cantiere, evitando la movimentazione dei materiali di risulta o da demolizione. In questo modo si può beneficiare di una drastica riduzione dei costi di trasporto, fattore determinante per l'economicità di produzione di materiali "poveri" quali gli inerti da costruzione. L'utilizzo di questi impianti fa in modo che il materiale, dopo aver separato le frazioni estranee, venga frantumato con la granulometria, richiesta per ottenere l'aggregato riciclato adeguato all'uso che se ne è deciso di fare. Inoltre, un'ulteriore considerazione fatta per tale scelta operativa è la consapevolezza di possedere un edificio costruito con materiali di ottima qualità, e già sprovvisto di molteplici compartimenti, come sanitari, arredi, parte degli infissi e anche sprovvisto di gran parte del tetto: tutto ciò semplifica le fasi di pre-demolizione e selezione dei materiali conformi al trattamento di valorizzazione attraverso l'impianto mobile. Inoltre, la qualità richiesta per il materiale

in uscita in funzione del suo scenario di valorizzazione, non richiede caratteristiche prestazionali di elevato pregio e dunque facilmente raggiungibili anche attraverso il trattamento in un impianto mobile.

4.2.5 Confronto tra gli scenari precedenti con lo scenario S7: conferimento in discarica

L'ultimo confronto svolto nel lavoro di tesi ha lo scopo di comprendere i benefici ambientali ottenibili favorendo una transizione dal modello lineare di gestione di risorse e rifiuti verso un modello di economia circolare, nella quale grazie all'utilizzo di impianti di valorizzazione il rifiuto inerte può divenire risorsa secondaria reinseribile all'interno del mercato economico. Dunque, l'obiettivo è quello di confrontare gli ultimi due scenari S5 e S6, con lo scenario S7 nel quale si descrive il conferimento di una tonnellata di materiale inerte da C&D in una discarica posta a 40 km dal luogo di demolizione.

Dai risultati di caratterizzazione riportati nella seguente tabella e nel grafico, si osserva che conferendo i rifiuti in discarica, e dunque adottando un processo economico lineare nel quale il bene, una volta conclusa la funzione per cui è stato prodotto, diviene rifiuto, si generano impatti ambientali che causano in particolar modo il consumo delle risorse primarie non rinnovabili, effetti sulla salute umana e l'emissione di gas serra, responsabili del cambiamento climatico.

Si osservano, al contrario, impatti evitati nel momento in cui si adottano strategie operative di valorizzazione dei materiali inerti, come negli scenari S5 e S6, che permettono di conservare le risorse prime naturali non rinnovabili e preservare l'energia incorporata nei materiali da costruzione, evitando le emissioni di anidride carbonica, grazie alla chiusura del ciclo di vita.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	S7: Discarica	S5: Imp. Mobile	S6: Imp. fisso
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	0,115	-0,0488	-0,0532
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	14,6	-7	-6,37
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	177	-86,2	-78,7
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	0,00332	-0,00158	-0,00144
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	0,0362	-0,0116	-0,0153
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	0,388	-0,129	-0,17
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	1,77	-0,868	-0,738
Uso del suolo	[Pt]	673	-129	-108
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	4,23E-06	-1,07E-06	-9,79E-07
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	0,116	-0,0377	-0,0478
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	319	-104	-93
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	2,34E-05	-3,31E-05	-3,07E-05
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	12,5	-63,3	-63,2

Tab.4.6 Risultati caratterizzanti gli impatti dei processi S5: Valorizzazione in impianto mobile_Caso Trieste, S6: Valorizzazione in impianto fisso_Caso Trieste e S7: Smaltimento in discarica di 1 tonnellata di rifiuti inerti da C&D per le categorie di impatto di Environmental Footprint 3.0.

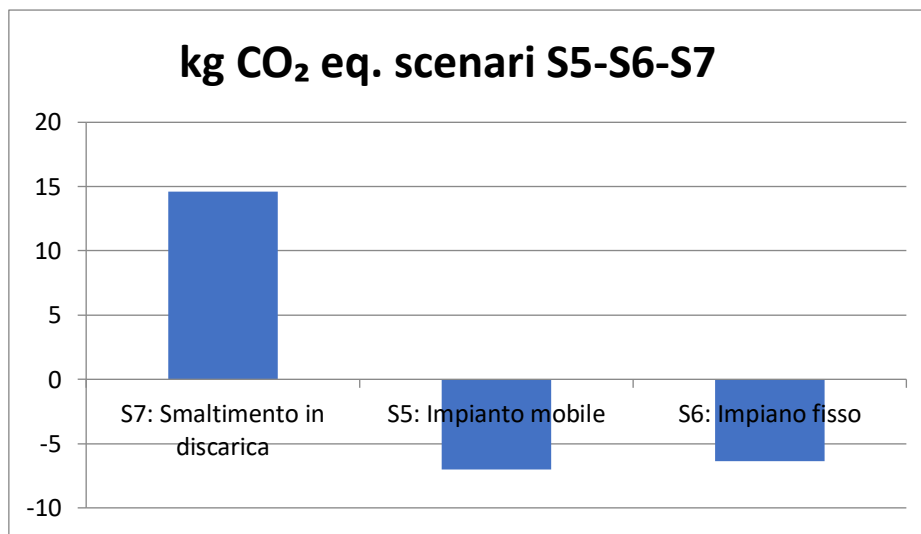


Fig.4.15 Contributi degli scenari S5, S6, S7 nella categoria di impatto *Climate Change*

Analizzando nello specifico i processi che costituiscono al sistema S7 di gestione dei rifiuti inerti da C&D in discarica, si nota come, nonostante la distanza di conferimento dei materiali sia rilevante e pari a 40 km, gli impatti principali sono causati dal trattamento di questi in discarica sanitaria per ogni categoria d'impatto. In particolare, si osserva come i risultati ottenuti dai trasporti diminuiscano drasticamente per le categorie d'impatto: impoverimento delle risorse idriche fino ad avere una differenza del 92%, eutrofizzazione di acqua dolce (85%) e uso del suolo (80%).

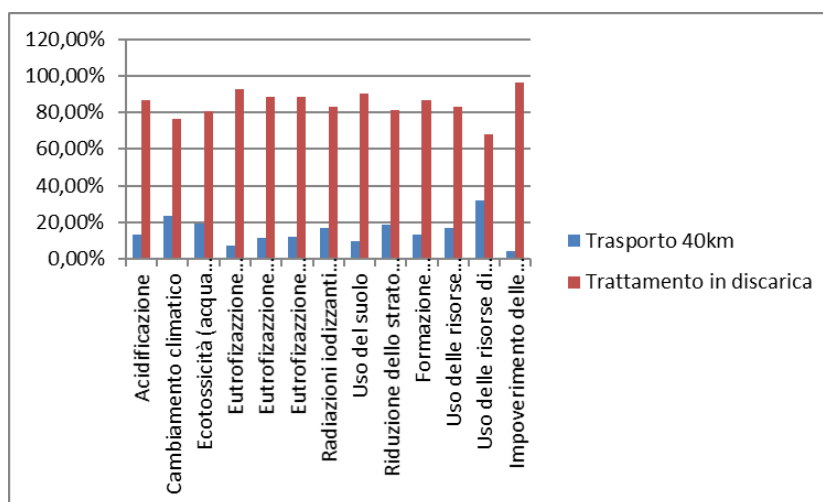


Fig.4.16 Confronto in caratterizzazione percentuale degli impatti prodotti dai flussi in entrata dello scenario S7, Trasporto e Trattamento in discarica

In conclusione, è chiaro come il riciclo e l'utilizzo delle materie secondarie nel settore delle costruzioni rappresentino uno strumento concreto per raggiungere gli obiettivi dell'economia circolare. Permettendo al rifiuto di divenire nuova risorsa, si minimizza la quantità di rifiuti smaltiti in discarica e l'utilizzo in modo intensivo delle risorse naturali, necessariamente estratte dai giacimenti naturali di sabbia e ghiaia, contribuendo all'impoverimento di suolo e risorse idriche.

4.3 Analisi dei costi

Per avere una visione più completa del caso studio si è scelto di affiancare alle valutazioni ambientali descritte anche valutazioni di carattere economico. Considerando il progetto di sopraelevazione della strada localizzata nell'area del Porto Vecchio di Trieste all'interno dell'analisi del caso studio, si vogliono andare a stimare:

- i prezzi dei materiali necessari per l'operazione di riempimento, quali:
 - *Stabilizzato misto granulare riciclato*
 - *Stabilizzato misto granulare naturale*
- La tariffa per il conferimento dei rifiuti inerti in discarica rispetto quella di conferimento negli impianti di trattamento per la produzione di aggregato riciclato, più o meno raffinato
- I prezzi per i trasporti di materiali inerti sia in uscita dagli impianti, che per il conferimento dei rifiuti da C&D in discarica o negli impianti di trattamento.

4.3.1 Materiali utilizzati come sottofondi stradali e granulometrie

Prima di proseguire con la trattazione si dà breve descrizione delle caratteristiche di un'infrastruttura stradale al fine di agevolare la comprensione del lavoro svolto nello studio. Un'infrastruttura stradale è progettata valutando in primo luogo il tipo di terreno nella quale verrà tracciata, per comprenderne le caratteristiche meccaniche e di stabilità e di conseguenza definire le geometrie e i materiali necessari per soddisfare le prestazioni dell'opera.

Considerando il corpo del rilevato stradale quella porzione compresa tra il piano di posa dello stesso e il piano di posa del sottofondo, questo è suddiviso da differenti strati riempiti di materiali con le dovute granulometrie per ciascuno di essi.

Generalmente, si ha un primo strato di sottofondo dell'ordine di 100 cm per la sovrastruttura stradale ed uno strato di circa 40 cm di stabilizzato, utilizzando materiale che può provenire sia da cave naturali di ghiaia e sabbia o da inerti riciclati provenienti da C&D. Inoltre, l'aggregato riciclato può essere utilizzato anche per la produzione delle pavimentazioni stradali, rigide, costruite con calcestruzzo, oppure semirigide, con misto cementato insieme a conglomerati bituminosi, o anche flessibili, con i conglomerati bituminosi per rendere impermeabile il manto stradale.

Il materiale che viene utilizzato negli ultimi strati del rilevato sottostante le pavimentazioni è il misto granulare stabilizzato. Nel caso in cui consideriamo quello ottenuto dalla selezione di materiali naturali, questi provengono da ghiaie alluvionali di natura mineralogica prevalentemente calcarea, con aggiunta eventuale di pietrisco. Il misto granulare richiesto deve rispettare determinate caratteristiche tecniche, come la presenza di elementi in prevalenza arrotondati e una dimensione massima degli elementi non superiore a 40 mm (Super Beton Calcestruzzi e Asfalti, s.d.).

L'analisi a questo punto verterà sulla ricerca dei prezzi di costo del misto stabilizzato granulato, per lo strato di stabilizzato di granulometria compresa tra i 0/40 mm di diametro e per lo strato di sottofondo, materiale con granulometria superiore, dai 30/120 mm di diametro come Ghiaione, Sabbia per sottofondo, Ciottolame e Inerte riciclato misto.

L'asfalto o il conglomerato bituminoso, che ricoprono la parte superiore della strada, sono invece costituiti da miscele accuratamente proporzionate di aggregati grossi, aggregati fini e filler minerali impastati con bitume. Lo stabilizzato frantumato utilizzato deve avere un diametro non superiore a 25 mm o può essere utilizzato anche il misto cementato ottenuto dalla miscelazione di misto granulare con cemento, per le

pavimentazioni di tipo semirigido. All'interno dell'analisi economica però, questi materiali non vengono presi in considerazione in quanto, anche se per la produzione di suddetti possono essere utilizzati aggregati riciclati, questi devono essere prodotti da impianti fissi i quali presentano caratteristiche più performanti e riescono a produrre aggregati più raffinati e di maggiori qualità. Nel nostro caso studio si è deciso di valorizzare i rifiuti provenienti dalla demolizione dell'edificio, attraverso un impianto mobile il quale permette di ottenere aggregati riciclati di buona qualità ma per granulometrie maggiori rispetto a quelli necessari per la produzione asfalto.

4.3.2 Dati e risultati stimati

Poiché si vuole procedere con un'analisi economica più generale e che descriva lo scenario italiano e non solo quello del caso studio del Porto Vecchio di Trieste, si è deciso di non considerare solo i prezzi della regione Friuli-Venezia Giulia, ma di consultare prezzi di differenti regioni d'Italia, listini prezzi di imprese di costruzione italiane e ad alcuni progetti esecutivi pubblici, per avere una media delle tariffe che si riferiscano a tutto il territorio italiano e per avere una stima più rappresentativa.

Dunque, una volta raccolti tutti i dati riferiti al costo dello stabilizzato naturale e dello stesso ma con la componente riciclata (fonti in bibliografia), è stata calcolata la media di questi e poi la differenza del prezzo che intercorre tra i due materiali.

MATERIALI	(€/ton)	(€/mc)
STABILIZZATO RICICLATO	5,91	8,28
STABILIZZATO NATURALE	11,07	13,22
Δ (AN-AR)	5,16	4,94

Tab.4.7 Prezzi medi dello stabilizzato naturale e riciclato e differenza che intercorre tra questi

Dalla tabella si nota come la differenza tra il costo degli aggregati naturali rispetto a quelli riciclati è superiore di circa € 5, sia che ci si riferisca al prezzo a tonnellata che a metro cubo, il che equivale a dire che oggi acquistare aggregato riciclato permette un risparmio, oltre che ambientale, anche economico, almeno del 40% in media rispetto al mistone naturale proveniente da cave.

Osservando l'andamento dei prezzi degli aggregati nel corso degli anni e, raccogliendo informazioni da alcuni esperti del settore, è venuta alla luce che la differenza riscontrata

sta via via diminuendo a causa dell'aumento dei prezzi degli aggregati riciclati. Questa tendenza è causata dalle richieste del mercato e delle politiche ambientali in atto, volte ad ottenere materiali riciclati con migliori caratteristiche prestazionali tali da ottenere Certificazioni Ambientali e il marchio CE, considerati oggi requisiti indispensabili. Inoltre, con la imminente pubblicazione dei CAM stradali, i controlli e le valutazioni sulle prestazioni degli aggregati riciclati saranno sempre maggiori, con un possibile conseguente ulteriore aumento dei costi.

Analogamente a quanto appena descritto, è stato eseguito lo stesso procedimento per ottenere la stima delle tariffe per il conferimento dei materiali inerti da C&D in discarica e in impianto di trattamento.

Per quanto riguarda il conferimento in impianti di trattamento, le tariffe differiscono in base alla qualità del materiale che giunge all'impianto. Se i rifiuti provengono da una demolizione selettiva, e dunque c'è stata una precedente fase di selezione del prodotto, il prezzo può andare dai 7 €/ton fino a massimo i 14 €/ton, mentre se i rifiuti provengono dall'attività di demolizione non selettiva la tariffa va dai 25 ai 35 €/ton; quest'ultima tariffa si avvicina a quelli che sono i costi per il conferimento dei rifiuti misti in discarica. Attraverso alcuni progetti esecutivi pubblicati in rete di diverse regioni, si è constatato che in media per conferire in discarica il prezzo è di 30 €/ton.

	(€/ton)
CONFERIMENTO IN DISCARICA	30
CONFERIMENTO IN IMPIANTO DI TRATTAMENTO	
Materiale pulito	9,2
Materiale sporco/misto	30

Tab. 4.8 Tariffe medie per il conferimento in impianto di trattamento e in discarica

Si noti come il costo per il conferimento dei rifiuti da C&D in discarica sia più oneroso (nella maggior parte delle regioni italiane) rispetto al conferimento in impianto; ne consegue che gli operatori preferiscono conferire i propri rifiuti da C&D presso impianti di trattamento, con la conseguenza che molti di questi, come nell'area del Lazio, hanno difficoltà a gestire nuovi ingressi di rifiuto da trattare.

Per ultimo, si vogliono considerare le tariffe per il trasporto dei materiali inerti, sia uscenti dagli impianti di trattamento, come aggregati riciclati, che in entrata come rifiuti da C&D. Le tariffe variano da regione a regione, generalmente si ha una distinzione in

base ai chilometri di percorrenza richiesti. Per la nostra analisi sono state considerate le tariffe riferite ad una distanza di percorrenza compresa tra i 20 e i 25 km e ne è stata calcolata la media: i risultati ottenuti mostrano che il prezzo da riferire ai trasporti di materiale inerte è in media stimabile pari a 10 €/ton.

Si riportano nella tabella 4.9 tutti i risultati ottenuti dall'analisi economica del caso studio.

MATERIALI	(€/ton)	(€/mc)
STABILIZZATO RICICLATO	5,909091	8,28
STABILIZZATO NATURALE	11,07143	13,22
TRASPORTI:		
CONFERIMENTO IN DISCARICA	30	
CONFERIMENTO IN IMPIANTO DI TRATTAMENTO		
Materiale pulito	9,2	
Materiale sporco/msito	30	

Tab. 4.9 Risultati totali ottenuti dall'analisi economica del caso studio

4.3.3. Conclusioni dell'analisi dei costi

Dalla valutazione economica effettuata si può concludere che, nonostante il costo dell'aggregato naturale risulti essere maggiore rispetto a quello riciclato, questo è ancora ovunque molto basso se considerato in rapporto ai ricavi che si ottengono con la vendita delle materie prime estratte rispetto alla media europea. I canoni di tassazione per l'estrazione delle materie prime risultano essere irrisori in molte regioni d'Italia, e in ben quattro ragioni è possibile estrarre a costo zero (Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna): per questo motivo, insieme anche alla bassa tassazione riservata per il conferimento in discarica, il consumo d'inerti naturali in Italia risulta essere ancora favorito rispetto all'utilizzo di materiali inerti riciclati (Altamura P. , 2017).

4.4 Analisi della produzione di barriere antierosione

L'obiettivo del caso studio è quello di creare un approccio circolare all'uso delle risorse presenti nelle aree portuali, per questa ragione si è utilizzato il materiale recuperato per

produrre barriere marine, da impiegare in prospettiva dei cambiamenti della morfologia delle coste come effetto dei mutamenti climatici.

Dunque, nell'ultima fase della nostra analisi si analizzano gli impatti a seguito della produzione delle barriere antierosione, con l'obiettivo di andare a confrontare gli impatti che si ottengono da un modulo prodotto con una determinata percentuale di aggregato riciclato, a seguito del trattamento dei rifiuti della demolizione dell'edificio del Porto Vecchio, con un modulo prodotto invece in modo *standard*, con calcestruzzo strutturale naturale.

4.4.1 Rischio dell'innalzamento del livello del mare

Uno studio sul rischio inondazione sui 21 principali porti commerciali italiani, svolto dall'ENEA dal laboratorio di "Modellistica climatica e impatti", evidenzia che nel 2100 potremmo avere un innalzamento del livello del mare di circa un metro, con dei picchi a Venezia e Napoli, che potrebbero avere un effetto amplificato a un mix di bassa pressione, onde e vento (lo *storm surge*). Da questi risultati l'ENEA ha elaborato un nuovo modello climatico abbinato agli effetti del *global warming*, con il quale si potranno creare delle mappe del rischio dettagliate e a breve termine, in modo da individuare gli interventi da mettere in campo per preservare le infrastrutture costiere e le attività commerciali e turistiche connesse (Innalzamento del mare: intesa Confindustria – ENEA, febbraio 2019). Nell'ultimo periodo sono state mappate altre sette nuove aree costiere italiane a rischio inondazione, oltre a quelle già mappate precedentemente riferite all'area costiera dell'alto Adriatico, nella quale è compresa anche Trieste.



Fig.4.17 Mappa delle coste italiane a rischio inondazione nel 2100 – Studio Enea

Per questo motivo si è pensato che progettare una barriera attraverso moduli assemblati tra loro possa essere un intervento utile di protezione della costa dall'erosione. I moduli considerati, con specifiche modificazioni di forma e peso possono altresì essere utilizzati per evitare la pesca illegale con strascico e incentivare il ripopolamento della flora e della fauna marina, nell'area di interesse.

4.4.2 Produzione del calcestruzzo strutturato con aggregato riciclato

Per comprendere la composizione e le prestazioni della miscela utilizzata per la produzione di calcestruzzo strutturato con aggregato riciclato, è stata consultata la ricerca di F. La Marca, C. Marcoccio e P. Zambito: "Calcestruzzo strutturato con aggregato riciclato", dalla quale sono stati ottenuti i dati descritti successivamente.

Per le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) "E' consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, a condizione che la miscela di calcestruzzo confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata attraverso idonee prove di laboratorio." Dalle NTC (D.M. 14 gennaio 2008) è possibile impiegare fino al 100% di materiale riciclato proveniente da C&D per ottenere un calcestruzzo di classe uguale a C 8/10 che uguaglia una resistenza a compressione pari a 10 MPa. Per il nostro caso studio si vuole ottenere un calcestruzzo per uso strutturale con una resistenza maggiore di 25 MPa, dunque si vuole andare a stimare la percentuale di materiale da dover utilizzare per il nostro fine.

Secondo i dati di (Riferimento a pubblicazione da cui hai preso grafici e tabelle) e prove sono state effettuate su materiale riciclato proveniente da C&D, selezionando solo aggregato grosso avente diametro maggiore di 4mm ($d > 4\text{mm}$), come da disposizione normativa. La composizione percentuale dell'aggregato grosso è riportata nel grafico 4.18.

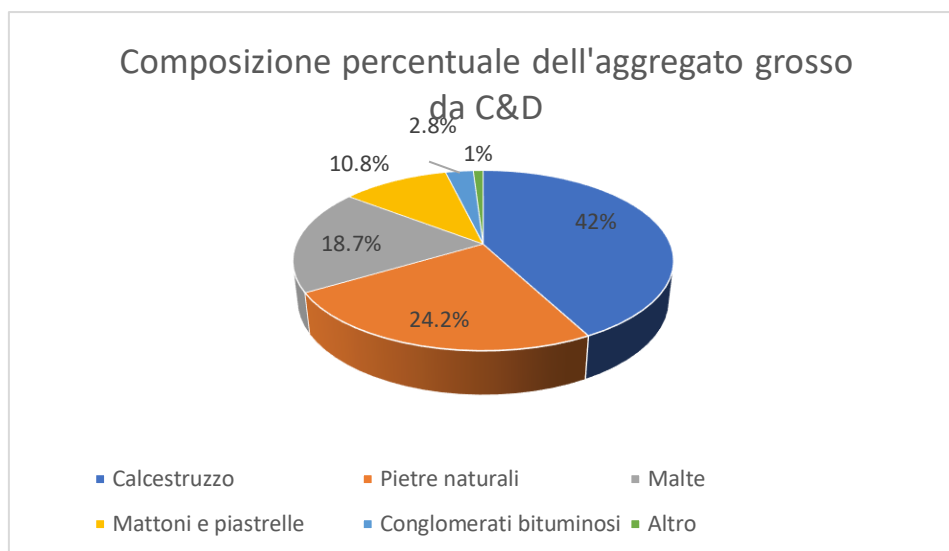


Fig. 4.18 Composizione percentuale dell'aggregato grosso proveniente da attività di demolizione e costruzione

Dopo aver definito la composizione dell'aggregato sono state effettuate delle prove di resistenza sui campioni avente diverse percentuali di aggregato riciclato, per testarne le prestazioni.

I risultati delle prove a resistenza a compressione, riportati in tabella 4.8, sono riferiti a tre differenti miscele, rispettivamente con il 5%, il 15% e il 30% di aggregato riciclato, e con la restante percentuale di aggregato naturale.

	% AN	% AR	Resistenza a compressione (Mpa)
Miscela 1	95	5	28,4
Miscela 2	85	15	25,9
Miscela 3	70	30	24,2

Tab. 4.10 Resistenze a compressione delle miscele con differenti percentuali di aggregato riciclato

La miscela è formata, oltre che con l'aggregato, anche da una parte di cemento del tipo: CEM II B-LL 32 5R, cioè cemento Portland composito con resistenza a compressione $\geq 32.5\text{MPa}$, e con una porzione di acqua. In conclusione, si può osservare che dai risultati delle prove considerate nella (riferimento a Pubblicazione da cui hai preso i dati) si ha la resistenza desiderata nelle miscele 1 e 2, per cui la percentuale di aggregato riciclato utilizzato nella produzione di calcestruzzo strutturato sarà pari a 15.

4.4.3 Input dei dati degli scenari a confronto

Come è stato descritto nel Capitolo 3.10, è stato compiuto il confronto tra due blocchi costruiti con differenti miscele di calcestruzzo strutturato.

- 1) Il primo è costruito con un blocco costruito con il 100% di Aggregati Naturali, quindi di sabbia e ghiaia che vengono direttamente estratti da cava,
- 2) nel secondo caso invece, si è ipotizzato di utilizzare il 15 % di aggregati riciclati.

La composizione della miscela considerata per la produzione di calcestruzzo è riferita ad un metro cubo di materiale ed è riportata nella tabella 4.11. È possibile, in questo modo, rappresentare il processo che lo descrive attraverso il programma per analisi LCA Gabi per valutarne successivamente gli impatti.

COMPOSIZIONE 1 m ³ MISCELA DI CLS		
Aggregato	1890	kg
CEM II B-LL 32 5R	300	kg
Acqua	160	lt

Tab. 4.11 Composizione di 1 m³ di miscela di calcestruzzo strutturale

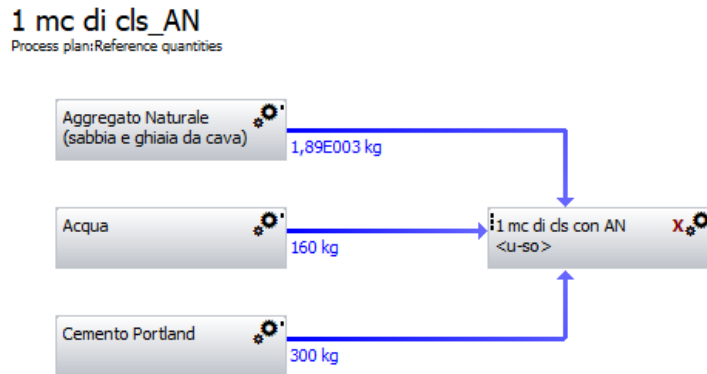


Fig. 4.19 Diagramma di flusso che descrive la produzione di 1 m³ di calcestruzzo strutturato con il 100% di aggregato naturale

Generalmente viene utilizzato anche una piccola quantità di additivo (l'1% della quantità cemento), ma nel nostro caso studio verrà escluso perché si vogliono rispettare i criteri per la produzione di calcestruzzo *seafriendly*.

Conoscendo la quantità di aggregato necessario, si ottiene che il 15% di AR è pari a 289.5 kg e dunque che il restante 85% di aggregato naturale sarà pari a 1606.5 kg, come riportato in tabella 4.12 e come è rappresentato nel diagramma di flusso della figura 4.20.

Miscela 2	
% AN	% AR
85	15
kg AN	kg AR
1606,5	283,5

Tab. 4.12 Quantità degli aggregati naturali e riciclati in base alle rispettive percentuali, riferite ai 1890 kg di aggregato per 1 m³ di calcestruzzo.

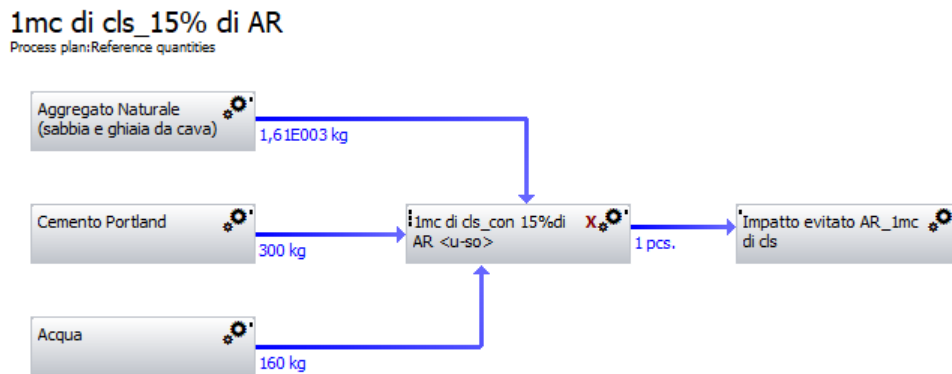


Fig. 4.20 Diagramma di flusso che descrive la produzione di 1 m³ di calcestruzzo strutturato con il 15% di aggregato riciclato

I processi che sono stati costruiti sono riferiti ad 1 m³ di calcestruzzo strutturato e saranno la base per produrre gli scenari che descrivono la costruzione dei diversi blocchi da confrontare.

4.4.4 Descrizione dei modelli di moduli presi in analisi

Nella successiva fase dell'analisi, si pone l'attenzione sulla descrizione delle caratteristiche strutturali e funzionali dei diversi modelli dei moduli che sono stati reputati appropriati al nostro caso studio.

4.4.4.1 Caso A (Piastra Tecnoreef®)

Per quanto riguarda il primo modello di piastra considerato, questo è costituito da un modulo elementare in calcestruzzo armato costituito da una piastra ottagonale che presenta dei fori di forma diversa all'interno della struttura, con pareti a loro volta inclinate verso l'interno. Le piastre sono unite tra loro e vanno a costruire una semplice piramide, il sistema base, oppure possono essere assemblate in piramidi più complesse (Sicilia, 2014).



Fig. 4.22 Immagine di una piramide costruita dall'assemblaggio di piastre Tecnofeer®

Il calcestruzzo utilizzato in ciascun modulo è a basso impatto ambientale, di tipo *sea-friendly*, il che vuol dire senza l'aggiunta di additivi o fluidificanti contenete miglioratori chimici di resa.

La piastra, inoltre, è rinforzata all'interno da un'armatura a croce costituita da un piatto in acciaio inox tipo AISI 304L, sezione 5 x 30 mm a forma a croce alla quale sono associati, lungo la sezione longitudinale della croce stessa, dei rinforzi di tondino di ferro da costruzione edile, quali miglioratori di aderenza. Questo tipo di acciaio è ad alta resistenza alla corrosione, dunque assolutamente inalterabile in acqua di mare.

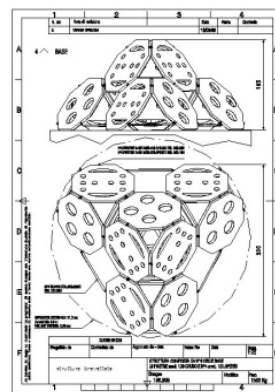


Fig. 4.23 Schema dell'assemblaggio di più piastre

Ciascuna piastra, della versione definita “120 cm”, del Caso studio A, è ottagonale con una distanza dai due lati paralleli tra loro di 1.180 mm ed uno spessore di 60 mm ed un peso di 129 kg.

Partendo dai suddetti dati si è calcolato il volume approssimativo, considerando che la costruzione delle piastre è singolare in base alle richieste dell’acquirente.

CALCOLO VOLUME:				
Apotema	590	mm	0,59	m
Numero fisso ottagono	1,207	/		
Area	1E+06	mm	1,1536	m ²
Spessore	60	mm	0,06	m
Volume 1 PIASTRA			0,06922	m³

Tab. 4. 13 Dati geometrici riferiti ad una piastra e risultato del volume ottenuto

Una volta trovato il volume della piastra è possibile quantificare i differenti materiali necessari per la produzione: le quantità che differiscono nei due casi a confronto riguardano esclusivamente la quantità di aggregato, mentre la quantità di cemento e acqua utilizzata resta la stessa.

1) PIASTRA CON 15% DI RICICLATO:

$AR_{15\%} = (\text{volume della piastra}) * (\text{kg di AR utilizzati per la costruzione di } 1 \text{ m}^3 \text{ di cls strutturato})$

$$AR_{15\%_Caso A} = 0.069 \text{ (m}^3\text{)} * 283.5 \text{ (kg)}$$

$$AN_{85\%_Caso A} = 0.069 \text{ (m}^3\text{)} * 1606.5 \text{ (kg)}$$

1) PIASTRA CON SOLOAGGREGATO NATURALE

Per la piastra costruita solo con aggregato naturale estratto direttamente da cava, si procede, anche in questo caso, con il medesimo approccio, ma moltiplicando il volume con i chilogrammi totali di aggregato necessari per il miscuglio della nostra unità funzionale, 1 m³, pari a 1890 kg:

$AN_{100\%} = (\text{volume della piastra}) * (\text{kg di AN utilizzati per la costruzione di } 1 \text{ m}^3 \text{ di cls strutturato})$

$$AN_{100\%_Caso A} = 0.069 \text{ (m}^3\text{)} * 1890 \text{ (kg)}$$

I risultati così ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle 4.14.

CLS NATURALE		CLS RICICLATO	
	kg		ton
AN 100%	130,82	AR 1 piastra	19,62
		AN 1 piastra	0,1112

Tab. 4.14 Quantità di aggregato naturale e riciclato necessarie per la produzione di una piastra con 100% AN e una con il 15% di AR.

La stessa cosa è stata fatta per stimare la quantità di cemento e di acqua necessaria per impastare la miscela

Acqua_Caso_A_15%AR = (volume della piastra) * (acqua necessaria per per la costruzione di 1 m³ di cls strutturato)

$$\text{Acqua_Caso_A_15\%AR} = 0.069 \text{ (m}^3\text{)} * 160 \text{ (lt)} = 11.1 \text{ (kg)}$$

Cemento_Caso_A_15%AR = (volume della piastra) * (cemento per 1 m³ di cls strutturato)

$$\text{Cemento_Caso_A_15\%AR} = 0.069 \text{ (m}^3\text{)} * 300 \text{ (kg)} = 20.8 \text{ (kg)}$$

Conclusasi la fase di analisi dell'inventario dei dati sui flussi di ingresso e l'impatto evitato nei due scenari, i processi sono implementanti nel *software* Gabi®. I risultati ottenuti sono riportati in tabella 4.15 e descrivono gli impatti associati ad una piastra costruita con il 100% di aggregati naturali, rispetto ad un'altra prodotta con il 15% di aggregati riciclati, mentre nell'ultima colonna è riportata la differenza che intercorre tra le due tipologie di piastre, calcolata in termini percentuali rispetto al valore dell'indicatore ottenuto per la piastra 100% AN.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	Piastra 100% AN	Piastra 15% AR	Δ (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	5,05E-02	4,85E-02	4%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	1,96E+01	1,92E+01	2%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	1,11E+02	1,08E+02	3%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	1,64E-03	1,57E-03	4%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	0,0132	0,0127	4%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	1,49E-01	1,43E-01	4%
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	9,45E-01	9,10E-01	4%
Uso del suolo	[Pt]	28,5	2,57E+01	10%

Tab. 4.15 Risultati caratterizzanti le categorie d'impatto del modello EF 3.0 relativi ai due scenari presi in analisi e differenza percentuale tra questi

Sostituire il 15% di 130.8 kg di sabbia e ghiaia estratta da cava con quella prodotta da rifiuti inerti provenienti da demolizioni, corrisponde a circa il 12 % del materiale totale necessario per la miscela. Grazie a questa sostituzione si ottiene una riduzione dell'impatto riguardante l'impoverimento delle risorse idriche pari al 23 %, una diminuzione del 10% per le risorse minerali e di metalli, come anche per l'uso del suolo.

Graficamente sono stati riportati invece i risultati dell'analisi descritti dall'indicatore *Global Warming Potential* [GWP], che esprime il contributo dei gas serra all'interno del cambiamento climatico, relativamente all'effetto della CO₂, il cui potenziale di riferimento è 1.

L'impatto tra i due scenari si discosta di poco, infatti si vede come la piastra costruita con il 100% di aggregati naturali produce 19,6 kg di CO₂ eq., mentre la piastra costruita con il 15% di aggregato riciclato produce 19,2 kg di CO₂ eq., ottenendo una differenza di soli 0,4 kg di CO₂ eq. pari al 2 %, se riferiti in termini percentuali.

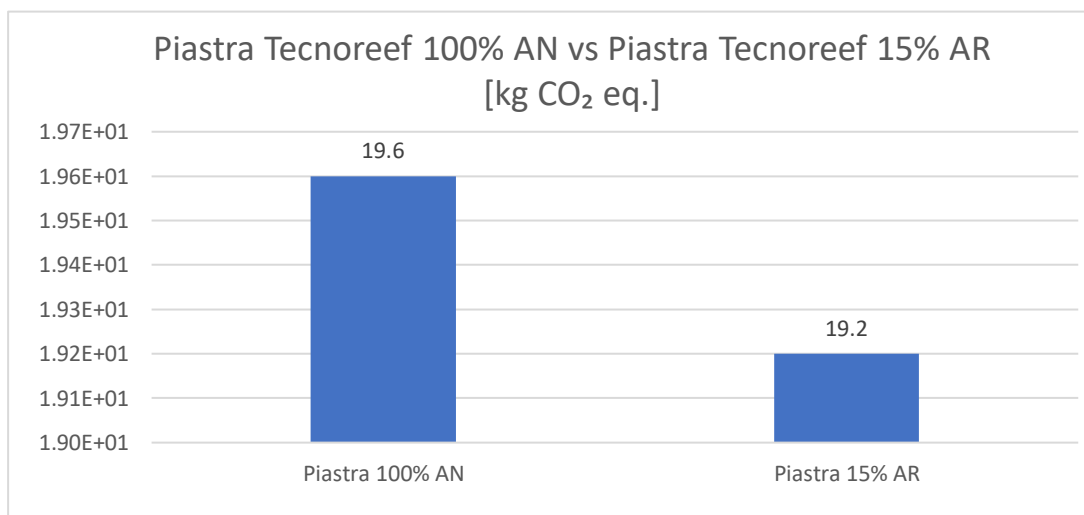


Fig. 4.24 Risultati caratterizzanti la categoria d'impatto Climate Change, riferiti ai due scenari analizzati

Dalla figura 4.25, che descrive il contributo dei singoli flussi per la produzione di una piastra con l'aggregato riciclato, l'impatto che prevale è quello che descrive il consumo di cemento. Il suddetto flusso è superiore rispetto agli altri e per questo motivo non si riscontrano evidenti benefici ambientali a prima vista.

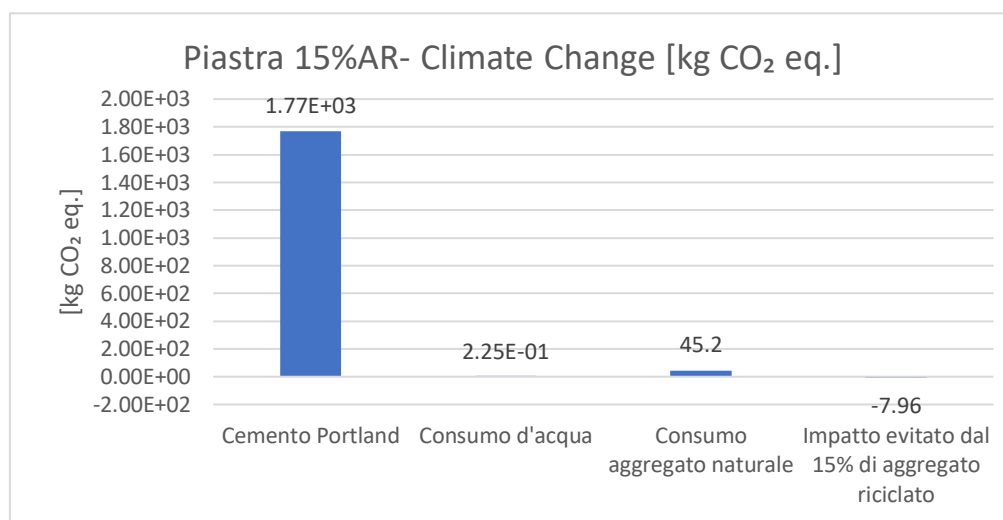


Fig. 4.25 Risultati caratterizzanti la categoria d’impatto *Climate Change* dei flussi in ingresso per la produzione di una piastra con il 15% di aggregato riciclato

4.4.4.2 Caso B (Blocchi Cubici)

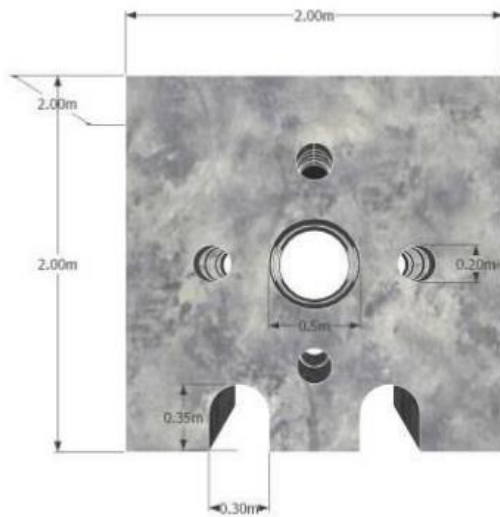
Il secondo modello preso in analisi è rappresentato da un blocco di calcestruzzo di forma cubica. L’utilizzo di questo modulo nelle precedenti esperienze progettuali mediterranee, come in Liguria, medio Adriatico, Fregene, Terrasini, ha prodotto ottimi risultati in termini di biomassa ospitata, diversità biologica e reclutamento di novellame (Scordella, 2013).

I blocchi cubici, aventi lati di 2 metri, sono costruiti mediante casseforme appositamente realizzate, sono presenti fori e cavità di diverso diametro ed ampiezza, alcune comunicanti, avente superficie scabra. Il rapporto tra la superficie e il volume tende ad aumentare a causa degli anfratti e delle cavità. Il peso di un masso di queste dimensioni è pari a circa 13 tonnellate, più che sufficiente per resistere all’impatto di una rete a strascico e alle correnti marine.

La loro funzione è assunta nel momento in cui vengono posizionate a piramide a profondità comprese tra 13 e 40 m di profondità, e il masso di vertice dista quindi almeno 6-7 m dalla superficie dell’acqua.

Le piramidi poggeranno su un basamento in pietrame che ha lo scopo di creare un opportuno substrato d’appoggio e aumentare la discontinuità del substrato.

Ottenute le informazioni riguardo le caratteristiche geometriche, si è trovato il volume del blocco:



Dati geometrici del blocco:		
altezza	2 m	
larghezza	2 m	
profondità	2 m	
D1	0,5 m	num.
d2	0,2 m	4
l arco	0,3 m	2
h arco	0,35 m	2
Peso	13 ton	

Tab.4.16 Dati geometrici che caratterizzano il blocco del Caso 2

Fig. 4.26 Rappresentazione di un blocco cubico con le sue misure

CALCOLO VOLUME, (FORI):				
Area 1	0,19625	m ²	A tot (num)	
Area 2	0,0314	m ²	0,1256	m ²
Area 3	0,035325	m ²	0,07065	m ²
Profondità blocco	2	m	0,12	m ²
Area rettangolo	0,06	m ²		
Vol 1	0,3925	m ³		
Vol 2	0,2512	m ³		
Vol 3	0,1413	m ³		
Vol Rettangolo	0,24	m ³		
V tot fori	1,025	m³		
Volume 1 cubo pieno	8	m ³		
Volume 1 cubo	6,975	m³		

Tab.4.17 Calcolo del volume dei fori e del blocco cubico del Caso B

Il volume del cubo, considerando i fori che ne caratterizzano l'utilizzo, è pari a 6.97 m³, si trovano con questo i valori degli input da inserire nel processo del Caso B in analisi:

CLS NATURALE			CLS RICICLATO		
	kg	ton		kg	ton
			AR 1 cubo	1977,41	1,98
100% AN	13182,8	13,18	AN 1 cubo	11205,34	11,21

Tab. 4.18 Quantità di aggregato naturale e riciclato necessarie per la produzione di un cubo con 100% AN e uno con il 15% di AR.

$$\text{Acqua_CasoB} = 1116 \text{ kg}$$

$$\text{Cemento_CasoB} = 2092,5 \text{ kg}$$

Una volta implementati tutti in dati dell'inventario nel software, si ottengono, in tabella 4.19, i risultati e la differenza che intercorre tra le due tipologie di piastre, calcolata in termini percentuali rispetto al valore dell'indicatore ottenuto per la piastra 100% AN.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	Cubo 100% AN	Cubo 15% AR	Δ (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	5,03	4,88	3%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	1950	1930	1%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	11100	10900	2%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	0,164	0,158	3%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	1,32	1,28	3%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	14,8	14,4	3%
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	94,2	91,7	3%
Uso del suolo	[Pt]	2850	2590	9%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	0,0000792	0,0000772	3%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	3,87	3,76	3%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	10200	9920	3%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	0,00108	0,000977	9%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	1030	792	23%

Tab. 4.19 Risultati caratterizzanti le categorie d'impatto del modello EF 3.0 relativi ai due scenari presi in analisi e differenza percentuale tra questi

In questo caso B, sostituire il 15% di sabbia e ghiaia naturale, vuol dire utilizzare 1977,41 kg di aggregato riciclato che rappresentano più del 12% di tutto il materiale che viene utilizzato nella miscela. Grazie a questa sostituzione si ottiene una riduzione

dell'impatto riguardante l'impovertimento delle risorse idriche pari al 23 %, una diminuzione del 9% per le risorse minerali e di metalli, come anche per l'uso del suolo. Anche in questo caso, la differenza tra i valori dell'impatto che descrivono il *Climate Change* per i due scenari è dell'1%, in quanto il flusso che contribuisce maggiormente all'interno del processo è la produzione di cemento Portland che influisce notevolmente sulla produzione di gas serra, in particolare di anidride carbonica.

I due grafici 4.27 e 4.28 rappresentano gli impatti riferiti alle categorie principali, *Climate Change* e impoverimento delle risorse primarie minerali e metalliche, dei singoli flussi che costituiscono la miscela con aggregato riciclato. Da questi è possibile notare come nella categoria "EF 3.0 Resource use, mineral and metals" sia presente una minore discrepanza tra i kg di Sb equivalente prodotti tra i vari flussi, ed in particolar modo rispetto all'impatto prodotto dal consumo di cemento. Questa discrepanza, invece, è molto consistente se si va ad osservare con attenzione il grafico 4.28 che rappresenta la produzione di kg di CO₂ equivalente.

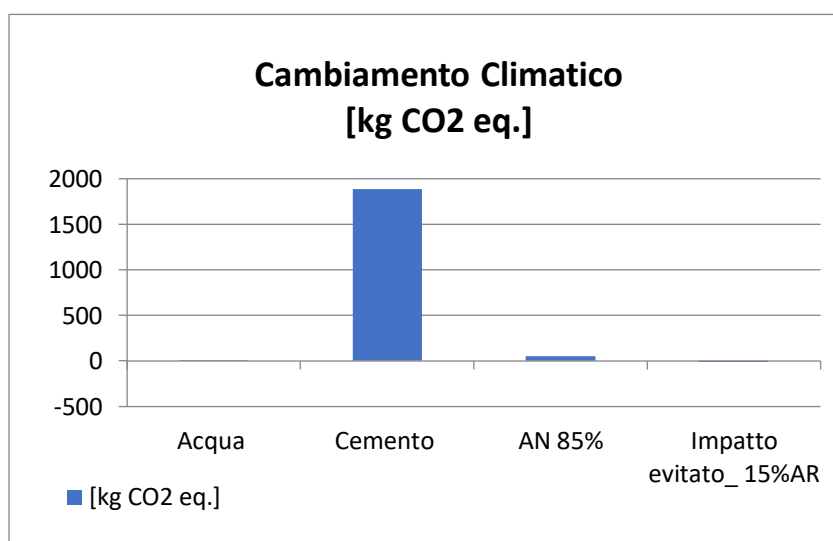


Fig. 4.27 Risultati caratterizzanti la categoria d'impatto *Climate Change* dei flussi in ingresso per la produzione di un modulo cubico con il 15% di aggregato riciclato

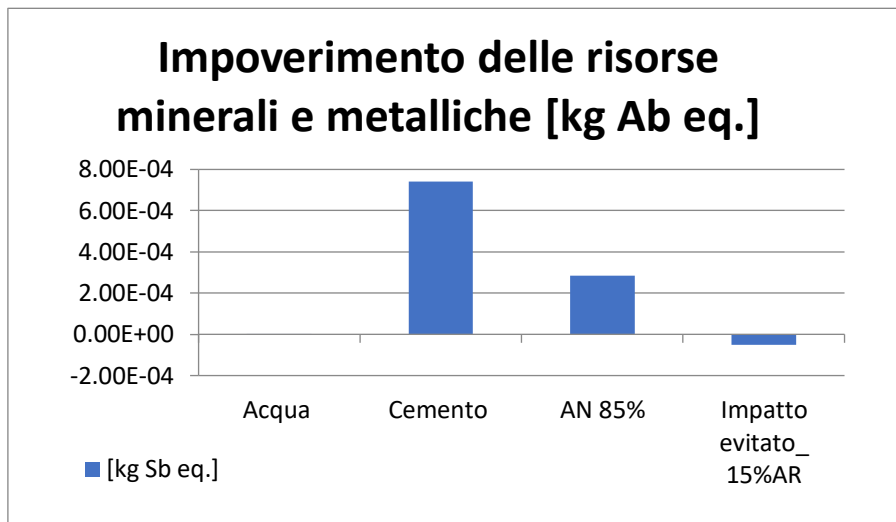


Fig. 4.28 Risultati caratterizzanti la categoria d’impatto “Impoverimento delle risorse minerali e metalliche” dei flussi in ingresso per la produzione di un modulo cubico con il 15% di aggregato riciclato

Quindi, in modo generico, si può affermare che i benefici ottenuti dalla valorizzazione dei rifiuti inerti e C&D variano in base alle differenti categorie d’impatto: sono maggiori se si guarda all’uso delle risorse minerali, minori nel cambiamento climatico.

4.4.4.3 Caso C (Modulo WAFEER®)

Il modulo Wafeer®, si presenta come un parallelepipedo in calcestruzzo di 2 x 2 x 2,8 m con delle cavità di diversa ampiezza e profondità, in modo da offrire rifugi e habitat diversificati agli organismi marini. Le cavità laterali sono passanti, mentre quelle centrali sono cieche e sono molto adatte come tane per le forme bentoniche (aragoste, scorfani, stadi larvali e postlarvali ecc.) (Trans Adriatic Pipeline Project).

Dai dati forniti dall’analisi della ricerca sui “Nuovi materiali e forme innovative per la realizzazione di barriere artificiali sommerse in acque costiere, ai fini del ripopolamento ittico e del contenimento dell’erosione costiera, attraverso la valutazione sul campo delle diverse tipologie di prodotto ripopolamento ittico e del contenimento dell’erosione costiera, attraverso la valutazione sul campo delle diverse tipologie di prodotto (R.I.B.ART.)”, del dott. Cataldo Licchelli, è possibile definire l’ingombro volumetrico del modulo in questione, pari a circa 9 m³ e un peso di circa 16 ton.

Il volume di calcestruzzo impiegato per ogni modulo è dunque di 6,4 m³ e la superficie esposta è di oltre 36 m². Il rapporto superficie esposta su superficie occupata di fondale è superiore a 9; ciò significa che per ogni metro quadrato di fondale sabbioso o fangoso

occupato dal modulo si rendono disponibili, alla flora e alla fauna, oltre 9 metri quadrati di substrato roccioso stabile e diversificato.

Ogni modulo WAFEER® può assolvere a diverse funzioni, come essere collettore di larve o “seme”; essere rifugio e protezione (sacche ovigere di calamari, crostacei in fase di muta, forme larvali e giovanili ecc.); fungere da richiamo ed erogazione di cibo, fungere da anti strascico ed impedimento meccanico alle attrezzature radenti in genere, in quanto ogni modulo che la compone ha un peso ragguardevole, pari a circa 16 t.

In questo caso, considerando il volume già tra i dati provenienti dalla ricerca bibliografica, si elencano le unità funzionali dei rispettivi flussi che caratterizzano i processi della costruzione di un modulo Wefeer® con il 15% di aggregato riciclato e quello con il 100% di aggregato naturale:

CLS NATURALE			CLS RICICLATO		
				kg	ton
	kg	ton	AR 15%	1842,8	1,84
AN 100%	12285	12,285	AN 85%	10442	1,04

Tab. 4.20 Quantità di aggregato naturale e riciclato necessarie per la produzione di un cubo con 100% AN e uno con il 15% di AR.

Adottando gli stessi procedimenti si calcolano le quantità necessarie di acqua e di cemento per la produzione di un modulo.

$$\text{Acqua_CasoC} = 1040 \text{ (kg)}$$

$$\text{Cemento_CasoC} = 1950 \text{ (kg)}$$

Implementando i flussi dei due scenari nel software Gabi si ottengono gli impatti relativi alle diverse categorie di impatto e la differenza percentuale che intercorre tra questi, rispetto allo scenario che descrive la produzione di un modulo Wafeer® con la totalità di aggregato naturale.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	Modulo 100% AN	Modulo 15% AR	Δ (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	4,69	4,19	3%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	1,82E+03	1,76E+03	1%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	1,03E+04	9,56E+03	2%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	0,153	0,135	3%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	1,23	1,11	3%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	13,8	12,5	3%
Radiazioni iodizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	87,8	79,6	3%
Uso del suolo	[Pt]	2,66E+03	1,78E+03	9%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	7,38E-05	6,74E-05	3%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	3,61	3,23	3%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	9,49E+03	8,65E+03	3%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	0,001	0,000671	9%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	962	168	23%

Tab. 4.21 Risultati caratterizzanti le categorie d'impatto del modello EF 3.0 relativi ai due scenari presi in analisi e differenza percentuale tra questi

Sostituire il 15% di sabbia e ghiaia naturale, vuol dire utilizzare 1842,8 kg di aggregato riciclato rispetto ai 12.285 kg totali di aggregato che sono necessari per la costruzione di un modulo Wafeer® tradizionale. Questa quantità rappresenta più del 12% di tutto il materiale che viene utilizzato nella miscela, considerando anche acqua e cemento. Grazie a questa sostituzione si ottiene una riduzione dell'impatto riguardante l'impoverimento delle risorse idriche pari al 23% e, come per i moduli di forma cubica si ha per le categorie uso del suolo e uso delle risorse minerali e metalliche una riduzione del 9% degli impatti.

Analizzando più nel dettaglio la categoria di impatto Cambiamento Climatico (*Climate Change*), si osserva dalla figura 4.29, una produzione di 1.8E03 kg di CO₂ eq. nello scenario caratterizzante il modulo con il 100% di aggregato naturale rispetto ai 1,73E03 kg di CO₂ eq. nel momento in cui si utilizzano materiali primi secondi valorizzati, come nel secondo scenario.

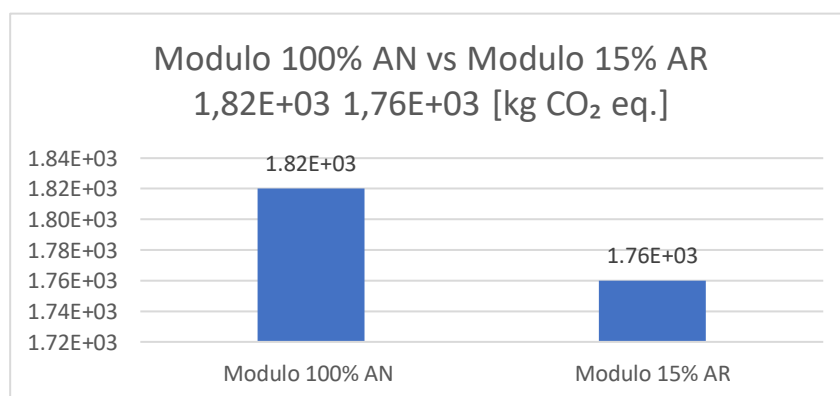


Fig. 4.29 Risultati caratterizzanti la categoria d'impatto *Climate Change*, riferiti ai due scenari analizzati

Anche in questo caso, apparentemente si nota un ridotto discostamento degli impatti, causato principalmente dal consumo, nella stessa quantità, di cemento in entrambe le miscele a confronto. Ma se si vanno ad analizzare più nel dettaglio i risultati delle singole categorie, si può notare come l'utilizzo di aggregato recuperato ne possa ridurre considerevolmente l'impatto, come nel caso della categoria "Water Scarcity" (Impoverimento delle risorse idriche).

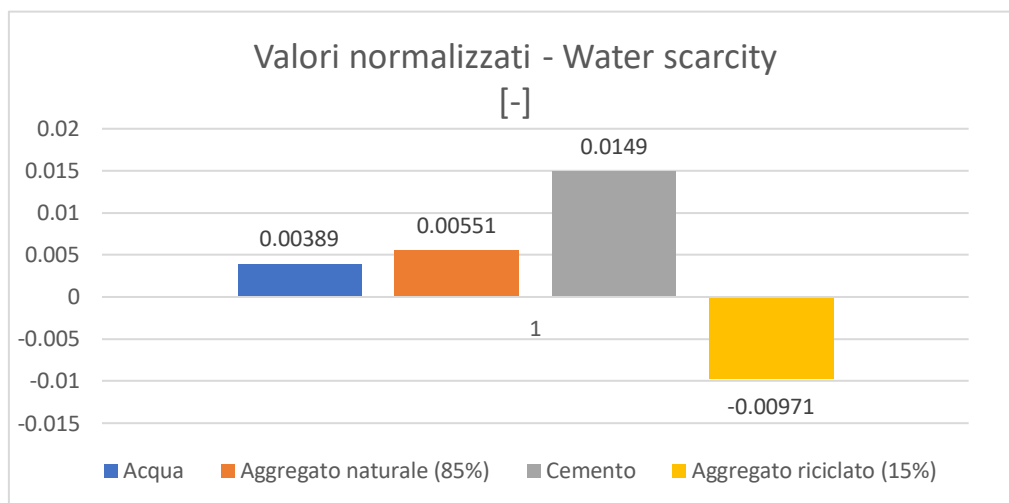


Fig. 4.30 Carichi ambientali normalizzati relativi alla categoria d'impatto *Water Scarcity*, dei singoli flussi per la produzione della miscela di calcestruzzo con il 15% di aggregati riciclati

4.4.4.4 Caso D (Modulo Tetrapodo)

I tre modelli sopra descritti rappresentano esempi di moduli che, assemblati in piramidi, vanno a costituire una soluzione che permette il ripopolamento della flora e della fauna marina.

Esistono altri modelli, in calcestruzzo, che possiedono forme differenti e che hanno il fine principale di proteggere la costa dall'erosione, bloccando l'innalzamento del livello del mare.

Il caso D analizza il modulo di protezione tetrapodo, descritto nella figura, utile anche come dissuasore per la pesca illegale a strascico (Scordella, 2013).



Fig. 4.31 Immagine di un modulo di protezione tetrapodo

Questo sistema è stato utilizzato in un progetto dalla Regione Lazio, e dalla letteratura a riguardo si è venuti a conoscenza delle caratteristiche strutturali del suddetto modulo:

- Peso: 14 tonnellate
- Volume: 6,3 m³

Da questi valori sono state ricavate le quantità dei componenti delle diverse miscele di calcestruzzo strutturato a confronto.

CLS NATURALE		CLS RICICLATO		
			kg	ton
	kg	AR 15%	1786,05	1,79
AN 100%	11907	AN 85%	10120,95	10,12

Tab.4.22 Quantità di aggregato naturale e riciclato necessarie per la produzione di un cubo con 100% AN e uno con il 15% di AR.

Acqua_CasoD: 1008 kg

Cemento_CasoD: 1890 kg

I dati ottenuti sono stati utilizzati per effettuare la valutazione degli impatti prodotti dalle diverse miscele a confronto, rappresentati nella tabella 4.23, insieme alla differenza percentuale rispetto ai valori ottenuti dalla miscela prodotta con il 100% di aggregato naturale.

Categorie di impatto ambientale	Unità di misura	Modulo 100% AN	Modulo 15% AR	Δ (%)
Acidificazione	[Mole of H+ eq.]	2,64	2,5	5%
Cambiamento climatico	[kg CO ₂ eq.]	9,64E+02	9,48E+02	2%
Ecotossicità (acqua dolce)	[CTUe]	5,67E+03	5,46E+03	4%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	[kg P eq.]	0,0866	0,0817	6%
Eutrofizzazione (acqua marina)	[kg N eq.]	0,686	0,653	5%
Eutrofizzazione terrestre	[Mole of N eq.]	7,72	7,35	5%
Radiazioni ionizzanti (salute umana)	[kBq U235 eq.]	49,1	46,8	5%
Uso del suolo	[Pt]	1,75E+03	1,51E+03	14%
Riduzione dello strato di ozono	[kg CFC -11 eq.]	4,09E-05	3,92E-05	4%
Formazione fotochimica di ozono	[kg NMVOC eq.]	2,03	1,92	5%
Uso delle risorse energetiche	[MJ]	5,27E+03	5,04E+03	4%
Uso delle risorse di minerali e metalli	[kg Sb eq.]	0,000661	0,00057	14%
Impoverimento delle risorse idriche	[m ³ world equiv.]	893	676	24%

Tab. 4.23 Risultati caratterizzanti le categorie d'impatto del modello EF 3.0 relativi ai due scenari presi in analisi e differenza percentuale tra questi

Da questa analisi si osserva come sostituire il 15% di sabbia e ghiaia naturale, vuol dire utilizzare 1.786 kg di aggregato riciclato rispetto ai 11.907 kg totali di aggregato che sono necessari per la costruzione di un modulo di protezione in modo tradizionale. Questa quantità, come negli altri casi, rappresenta più del 12% di tutto il materiale che viene utilizzato nella miscela. Grazie a questa sostituzione si ottiene una riduzione dell'impatto riguardante l'impoverimento delle risorse idriche pari al 24% e una riduzione del 14% sia per la categoria uso del suolo, che per l'uso delle risorse minerali. Anche per la categoria *Climate Change* si ha una riduzione degli impatti, pari in questo caso al 2%. Si rappresentano in figura 4.32 i kg di CO₂ equivalente prodotta dalla produzione delle due miscele di calcestruzzo utilizzato per la costruzione de moduli tetrapodi.

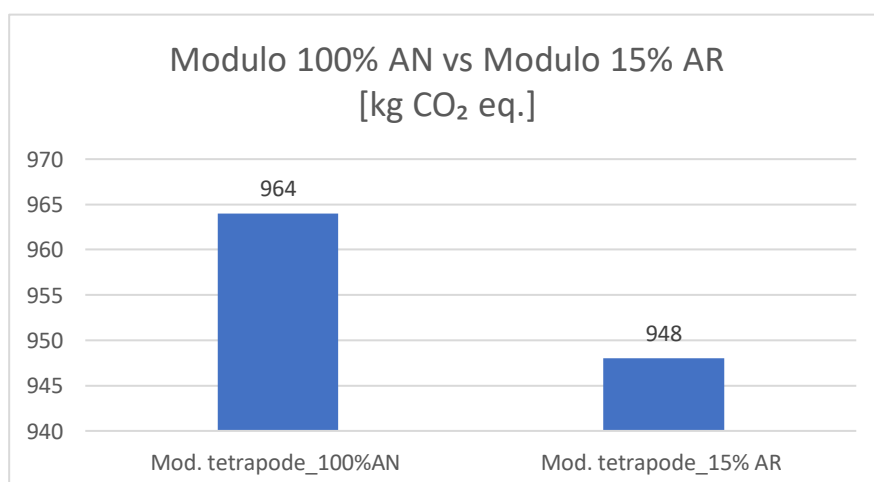


Fig. 4.32 Risultati caratterizzanti la categoria d'impatto *Climate Change*, riferiti ai due scenari analizzati

La fase produttiva del cemento, comune a tutte le miscele analizzate, ha mostrato un carico ambientale molto elevato rispetto alle altre fasi. Per tale ragione si è reso necessario effettuare una analisi parziale del ciclo di vita, in modo da cogliere le differenze tra le varie miscele, e i benefici delle risorse prime seconde. Dunque, si riportano i risultati normalizzati degli impatti relativi alla produzione di calcestruzzo strutturato riciclato, in modo da osservare la quantità degli impatti evitati per le diverse categorie, rappresentanti i benefici ambientali ottenibili.

Categorie di impatto ambientale	Acqua	Cemento	AN 85%	AR 15%
Acidificazione	3,74E-05	0,0393	0,0069	-0,00122
Cambiamento climatico	5,20E-05	1,13E-01	5,64E-03	-0,000994
Ecotossicità (acqua dolce)	7,03E-05	1,16E-01	1,40E-02	-0,00246
Eutrofizzazione (acqua dolce)	0,000185	0,0436	0,00854	-0,0015
Eutrofizzazione (acqua marina)	1,64E-05	0,0295	0,00476	-0,000839
Eutrofizzazione terrestre	1,62E-05	0,0367	0,00588	-0,00104
Radiazioni ionizzanti (salute umana)	0,0017	0,3	0,0461	-0,00811
Uso del suolo	5,47E-07	4,24E-04	3,06E-04	-5,39E-05
Riduzione dello strato di ozono	7,20E-07	7,23E-04	1,03E-04	-1,82E-05
Formazione fotochimica di ozono	2,08E-05	0,0413	0,00721	-0,00127
Uso delle risorse energetiche	0,00013	6,91E-02	9,97E-03	-0,00176
Uso delle risorse di minerali e metalli	3,89E-06	0,00562	0,00405	-0,000714
Impoverimento delle risorse idriche	0,00707	0,00771	0,0534	-0,00941

Tab. 4.23 Risultati dei carichi ambientali normalizzati per le categorie d'impatto del modello, relativi alla produzione di un modulo tetrapodo in calcestruzzo riciclato

Conclusioni

Lo studio descritto in questo lavoro di tesi ha proposto un approccio di gestione circolare delle risorse presenti nelle aree portuali.

Si è deciso di intraprendere questo lavoro in quanto oggi il settore dell'edilizia risulta essere uno dei settori maggiormente impattanti dal punto di vista ambientale nel contesto italiano. Inoltre, a causa dell'abbandono e al mancato recupero di un numero sempre maggiore di aree o di edifici, ci si trova dinanzi ad una continua richiesta di spazi per la residenza e per i servizi, e conseguentemente alla richiesta di risorse minerali, energetiche e di suolo.

Per questo motivo, concepire le aree dismesse come fonte di risorse può essere considerata una strategia per realizzare concretamente il modello economico circolare. Per esaminare il patrimonio edilizio a disposizione è necessario definire la quantità di stock di materiale inerte incorporato in un edificio e considerarlo come futuro deposito di risorse antropogeniche per materie prime secondarie (*Urban Mining*).

Nel caso studio specifico si è considerato lo stock di materiale incorporato in un edificio del Porto Vecchio di Trieste e, successivamente a valutazioni e confronti tra differenti scenari, si è giunti a costruire un possibile modello di gestione e di valorizzazione dei rifiuti prodotti dalla demolizione, valutandone gli impatti ambientali e la fattibilità economica.

L'obiettivo finale è stato quello di definire un approccio ed una metodologia che possano avere un carattere generale adattabile ad altri contesti simili per poter supportare decisioni progettuali e politiche, e favorire un modello economico che aumenti l'utilizzo di rifiuti inerti da C&D in modo che, una volta valorizzati, possano rientrare a far parte del sistema economico, evitando in questo modo l'esaurimento delle risorse naturali non rinnovabili, il consumo del suolo e altri impatti negativi sull'ecosistema.

Applicando la metodologia del *Life Cycle Assessment (LCA)* è stato possibile calcolare e confrontare gli impatti prodotti dai differenti sistemi di trattamento, impianti fissi alimentati a elettricità rispetto a quelli mobili a gasolio, considerando differenti scenari nei quali variano le distanze degli impianti fissi di trattamento e la distanza dai luoghi di riutilizzo degli aggregati riciclati, con l'obiettivo di stimare il contributo dei trasporti rispetto al profilo degli impatti ambientali imputabili ai processi e ai trattamenti descritti.

Per fornire un quadro più completo degli elementi di valutazione delle soluzioni proposte, le performance ambientali sono state affiancate a quelle economiche, facendo riferimento ai prezzi dei materiali e dei trasporti.

I rifiuti prodotti dalla demolizione dell'edificio sono stati impiegati in parte come sottofondo stradale al fine di favorire un riutilizzo in loco, mentre, per la restante parte si è deciso di impiegare l'aggregato riciclato in sostituzione del 15% degli aggregati naturali necessari per la produzione di calcestruzzo per la costruzione di moduli di barriere antierosione.

In virtù di quanto appena descritto, nel caso studio si è voluto, infine, confrontare gli impatti ambientali di due tipi di piastre o moduli: una costruita in modo standard, cioè con solo calcestruzzo naturale (sabbia e ghiaia direttamente estratti da cava) e l'altra realizzata con il 15% di materiale riciclato rispetto alla quantità totale di aggregato che compone la miscela di calcestruzzo.

I risultati delle analisi ambientali hanno offerto un quadro generale sugli impatti generati dallo scenario di base considerato, evidenziando i vantaggi legati alla valorizzazione dei rifiuti da costruzione e demolizione come materie prime seconde in termini di emissioni di CO₂ risparmiate, pur considerando i consumi dei trattamenti necessari, ed in termini di materie prime risparmiate (riduzione degli indicatori di impatto di consumo delle risorse).

Lo studio ha inoltre evidenziato l'apporto rilevante della produzione del calcestruzzo sul totale del profilo degli impatti generati, sottolineando l'importanza di creare i presupposti tecnici, normativi e di mercato per un recupero dei rifiuti da C&D anche per riutilizzi più nobili ed in rapporto 1:1.

Nello studio è stato poi realizzato un'analisi di scenario che ha permesso la valutazione delle prestazioni ambientali legate a diverse configurazioni impiantistiche e a diversi valori dei parametri considerati (ad es. distanza). Confrontando, ad esempio, l'efficienza ambientale dell'impianto di trattamento fisso rispetto a quello mobile, si ottiene che per la maggior parte delle categorie d'impatto l'impianto fisso risulta essere più performante. Per quanto riguarda la categoria d'impatto uso delle risorse naturali, sebbene gli impianti fissi abbiano un'efficienza di trattamento maggiore, e quindi una produzione di aggregati riciclati leggermente superiore rispetto a quella degli impianti alimentati a gasolio (mobili che invece producono una minima percentuale di scarto inviato in discarica), questi hanno impatti maggiori. Tale risultato è spiegabile considerando le risorse necessarie per il conferimento in impianto del rifiuto combinato con quelle necessarie alla produzione di energia elettrica nel contesto del mix energetico utilizzato (mix italiano).

Si può affermare, dunque, che in linea generale, la tecnologia ambientalmente più sostenibile è quella che vede l'utilizzo di impianti a energia elettrica per effettuare il trattamento di riciclo dei C&D. Questi impianti, a fronte di un investimento iniziale più consistente rispetto a quello che occorre per un impianto alimentato a gasolio, hanno un layout più articolato, e risultano particolarmente vantaggiosi nei casi in cui non vengano applicate procedure di demolizione selettiva in cantiere, e il rifiuto in ingresso contenga molte impurezze. Quindi, con l'obiettivo di produrre aggregati riciclati di qualità migliore e di ridurre gli impatti ambientali indotti dal trattamento di riciclo, una possibile azione che si può intraprendere è quella di favorire o incentivare l'autorizzazione e realizzazione di impianti fissi ad energia elettrica, rappresentando questi l'opzione più vantaggiosa sia dal punto di vista ambientale che energetico.

Dai risultati dei singoli flussi in ingresso al sistema rappresentante il trattamento in impianto fisso, si è rilevato che il trasporto è molto incidente nel consumo delle risorse. Per questo motivo si è calcolata la distanza per la quale si producono gli stessi impatti, sia che vengano utilizzati impianti fissi che mobili (distanza di pareggio) rispetto al caso studio considerato. Questa è risultata essere pari a 6,5 km.

Inoltre, dalla valutazione degli impatti prodotti dal confronto tra il trattamento degli inerti con un impianto mobile rispetto ad uno fisso per il caso studio dell'edificio considerato nel porto vecchio di Trieste, è risultato conveniente operare direttamente presso il cantiere attraverso un impianto mobile, poiché si evita la movimentazione dei materiali di risulta o da demolizione. In questo modo si può beneficiare di una drastica riduzione dei costi di trasporto, fattore determinante per l'economicità di produzione di materiali quali gli inerti da costruzione. L'utilizzo di questi impianti fa in modo che il materiale, dopo essere stato separato dalle frazioni estranee, venga frantumato con la granulometria, richiesta per ottenere l'aggregato riciclato adeguato all'uso che se ne è deciso di fare. Inoltre, in questo contesto l'utilizzo dell'impianto mobile è ulteriormente favorito in quanto si possiede un edificio costruito con materiali di ottima qualità e già sprovvisto di molteplici compartimenti (sanitari, arredi, parte degli infissi e di gran parte del tetto): tutto ciò semplifica le fasi di pre-demolizione e selezione dei materiali conformi al trattamento di valorizzazione attraverso l'impianto mobile. Inoltre, la qualità richiesta per il materiale in uscita in funzione del suo scenario di valorizzazione non richiede caratteristiche prestazionali di elevato pregio e dunque facilmente raggiungibili anche attraverso il trattamento in un impianto mobile.

Dai risultati ottenuti è dunque chiaro come il riciclo e l'utilizzo delle materie secondarie nel settore delle costruzioni rappresentino una strategia operativa e strumento concreto per raggiungere gli obiettivi dell'economia circolare. Permettendo al rifiuto di divenire nuova risorsa, si minimizza la quantità di rifiuti smaltiti in discarica e l'utilizzo in modo intensivo delle risorse naturali, necessariamente estratte dai giacimenti naturali di sabbia e ghiaia, contribuendo all'impoverimento di suolo e risorse idriche.

I risultati ottenuti dall'analisi dei costi hanno messo in evidenza che oggi acquistare aggregato riciclato permette un risparmio, oltre che ambientale, anche economico, circa del 40% in media rispetto al mistone naturale proveniente da cave, ma che questa differenza sta via via diminuendo a causa dell'aumento dei prezzi degli aggregati riciclati. Questa tendenza è causata dalle richieste del mercato e delle politiche ambientali in atto, volte ad ottenere materiali riciclati con migliori caratteristiche prestazionali tali da ottenere Certificazioni Ambientali e il marchio CE. Inoltre, con la imminente pubblicazione dei CAM stradali, i controlli e le valutazioni sulle prestazioni degli aggregati riciclati saranno sempre maggiori, con un possibile conseguente ulteriore aumento dei costi volti alla certificazione della qualità degli stessi.

Inoltre, il costo per il conferimento dei rifiuti da C&D in discarica è più oneroso (nella maggior parte delle regioni italiane) rispetto al conferimento in impianto; ne consegue che gli operatori preferiscano conferire i propri rifiuti da C&D presso impianti di trattamento, con la conseguenza che molti di questi, come nell'area del Lazio, abbiano difficoltà a gestire nuovi ingressi di rifiuto da trattare in quanto ad un elevato volume di conferimenti non corrisponde un altrettanto elevato ingresso di materie prime seconde nel mercato degli inerti. Nonostante queste considerazioni, il costo dell'aggregato naturale in Italia risulta essere ancora ovunque molto basso se considerato in rapporto ai ricavi che si ottengono con la vendita delle materie prime estratte rispetto alla media europea. I canoni di tassazione per l'estrazione delle materie prime risultano essere irrisori in molte regioni d'Italia, e in ben quattro regioni è possibile estrarre a costo zero (Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna): per questo motivo, insieme anche alla bassa tassazione riservata per il conferimento in discarica, il consumo d'inerti naturali in Italia risulta essere ancora favorito rispetto all'utilizzo di materiali inerti riciclati.

Lo studio in definitiva ha voluto fornire dati e valutazioni che siano di supporto alle decisioni per favorire una gestione circolare delle risorse nella progettazione e gestione della riqualificazione di una specifica area, ma ha anche l'ambizione di rappresentare un caso studio di carattere generale che possa essere adattato e replicato in contesti simili al fine di favorire la diffusione del concetto di *urban mining* e la transizione da un modello lineare verso un modello circolare di gestione delle risorse e dei rifiuti nel campo delle costruzioni.

Bibliografia

- (n.d.), Retrieved from <http://www.gabi-software.com>
- 14040 I. (2006), *“Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Geneve, Switzerland: ISO – International organization for standardization,
- al. K. F. (2009), *Growth in global material use, GDP and population during 20th century*.
- Altamura P. (2015), *Costruire a zero rifiuti*, Francoangeli.
- Altamura P. (2017), *Costruire a zero rifiuti*.
- ANPAR, (30 Settembre 2018), *L’End of Waste dei rifiuti inerti*.
- ANPAR, (ottobre 2018), *Gli aggregati riciclati nelle opere pubbliche e private: le opportunità tecniche ed economiche* .
- Barduzzi O. (2006), *Variante del Piano regolatore Portuale per l’ambito del porto Vecchio di Trieste*, Autorità portuale .
- Bergsdal H. B. R. (2007), Projection of construction and demolition waste in Norway.
- Bergsdal H. B. (2007), Projection of Construction and Demolition Waste in Norway, *Journal of Industrial Ecology* .
- Borghi G. (2016), *Analisi LCA a supporto della pianificazione della gestione dei rifiuti C&D non pericolosi in Lombardia*, Milano.
- Brambilla B. &. (2016), Che cos’è l’economia circolare, *Ambiente*.
- Bressi G. (1992), Possibilità di riciclaggio delle macerie di origine edilizia.
- Carlo Collivignarelli G. P. (2018), *Indicazioni e criteri per l’utilizzo degli aggregati riciclati nel settore edile, stradale e ambientale*, Brescia.
- Carlo Collivignarelli G. P. (Giugno 2018), *Indicazioni e criteri per l’utilizzo degli aggregati riciclati nel settore edile, stradale e ambientale*, Brescia.
- Cascone C. (2016), *L’Economia Circolare nel settore agroalimentare e l’LCA come elemento a supporto: il progetto Food Crossing District*, Bologna.
- Ciambrone D. F. (1997), *Environmental Life Cycle Analysis*, CRC Press.
- Confindustria, (31 Ottobre 2018). Il ruolo dell’industria italiana nell’economia circolare ., (pp. 23-29), Roma .
- Cresceri R. B. (2016), *Linee guida sui rifiuti speciali da costruzione e demolizione*, Ostiano: Nuova Sebbiotica.
- Davidson C. F. C. (2010), *“EU as a Recycling Society. Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU”*, Copenhagen: European Topic Centre on Sustainable Consumption (ETC/SCP).
- De Melo A. G. (2011), Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal), *Resources, Conservation and Recycling*.
- APPA, (2011), *Rifiuti inerti e prodotti riciclati nelle costruzioni*, Trento

- Ecolabel, (2016, Novembre), *Consultazione*, Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/ecoabel/>
- Ellen MacArthur Foundation, (2012), *Towards the circular economy vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the circular economy vol. 2: opportunities for the consumer goods sector*.
- ENV E. C. (2011) *Service contract on management of C&D waste, Final Report Task*.
- Europea C. (2.12.2015) L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare. *Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni*, Bruxelles.
- Geremei A. (2019), End of Waste, la legge "sblocca autorizzazioni" in vigore da 3/11/2019, *ReteAmbiente*.
- Ghiglietti C. (2018), AUDIT PRE-DEMOLIZIONE .*zeroenvironment.it*
- Giovinazzi O. (n.d.) *Città portuali e waterfront urbani: costruire scenari di trasformazione in contesti di conflitto*.
- Giulia Borghi S. P. (2017), *Analisi LCA a supporto della pianificazione della gestione dei rifiuti da C&D non pericolosi in Lombardia*.
- GPP Green public procurement (2017, Gennaio), Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm
- Hashimoto S. T. (2009), *Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy—A case study of construction minerals in .*
- Huang T. S. (2013), Materials demand and environmental impact of buildings construction and demolition in China based on dynamic material flow analysis, *Resources, Conservation and Recycling .*
- Il giorno in cui l'umanità va in debito-Earth Overshoot Day, (2014), *Ecoscienza*, 25.
- Innalzamento del mare: intesa Confcommercio – ENEA (febbraio 2019), *Ambiente Rinnovabile.it*.
- IPP, Integrated Product Policy, (n.d.) Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/ipp/index_en.htm
- ISTAT (2017), *Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia*, Roma.
- Kleemann F. L. J. (2017) GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings, *Journal of Industrial Ecology*.
- Kleemann F. (2016), *Buildings as potential urban mines: quantitative, qualitative and spatial analysis for Vienna*, Vienna: Technische Universität Wien.
- La.Fem.Me. (2013), *"La gestione integrata dei rifiuti", I PRINCIPI E LA LEGISLAZIONE EUROPEA*.
- Legambiente (2017), *Relazione Cave*.
- Lio A. D. (2018, agosto 06), Demolizione di un edificio: solo e soltanto rifiuti? *Tutto Ambiente*.

- Longo D. (2007), *Decostruzione e riuso: procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*, Alinea Editore.
- M.DE VINCENTIIS G. R. (2018, aprile 04), Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni: cosa cambia per gli aggregati riciclati, *Recycling*.
- Meadows D. H. M. D. (1972), *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*, Universe Books.
- Nanni. e. (Febbraio 2017), *Rapporto Cave Legambiente* .
- Paesaggio IX*. (n.d.), Retrieved from Fandom:
https://paesaggioix.fandom.com/it/wiki/Aree_dismesse
- Pezzini A. (2011, Marzo), *Comitato Economico e Sociale Europeo*. Retrieved from Edifici dell'UE:
<http://www.sacert.eu/nuovosito/userfiles/file/Pezzini%20EDIFICI%20NELL'UE.pdf>
- Rigamonti. (2017), Modelling primary material substitution in waste-management-oriented LCA: proposal to define a replacement coefficient.
- Rigamonti E. (1995), *Dati qualitativi e quantitativi sulla produzione di rifiuti da C&D*, Milano: Istituto per l'Ambiente.
- Scordella G. (2013), *Studio di fattibilità per la realizzazione di aree di ripopolamento di flora e di fauna, con l'impiego di substrati in cls, nell'area di intervento finalizzata alla mitigazione degli impatti sui fonfatie la compensazioen ambientale*, Bari.
- Sicilia R. (2014), *Progetto vivere il mare*, Sicilia.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (2016, Dicembre), Retrieved from www.setac.org
- Solís-Guzmán J. M.-D.-d.-A. (2009), A Spanish model for quantification and management of construction waste, *Waste Management* .
- Super Beton Calcestruzzi e Asfalti. (n.d.) *Materiale per fondazione stradale*, Retrieved from https://www.superbeton.it/asfalti/materiali_fondazione_stradale/
- Symonds with ARGUS C. a. (February 1999), *European Commission: CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT PRACTICES, AND THEIR ECONOMIC IMPACTS*.
- T. Coleman P. M. (2003), *International expert group on Life Cycle*, The International Journal of Life Cycle.
- Territori e culture della metropoli contemporanea, (2002, Maggio), *Editoriale di Gomorra-*, pp. 6-7.
- Trans Adriatic Pipeline Project, (n.d.), *Progetto per l'Installazione dei Dissuasori Antistrascico*. S. Foca.
- Trieste, scelto l'advisor del Porto Vecchio: è Ernest&Young (2016, gennaio 26), *il Piccolo*.
- VAS_RA_All2 Quadro di riferimento territoriale e ambiental (n.d.), Milano, Italia.

