

A seguito di istanza di accesso generalizzato ai sensi dell'art.5 comma 2 d.lgs 14 marzo 2013, n. 33 ed al fine di rendere disponibili a tutti i soggetti interessati dal Progetto di Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti Urbani e di Bonifica delle Aree Inquinata e per una maggiore fruibilità delle informazioni e dei dati utilizzati per la predisposizione dei documenti di Piano, si allega, quale documentazione aggiuntiva ai documenti pubblicati per la procedura di Valutazione Ambientale Strategica, lo studio integrale "Applicazione della metodologia LCA agli scenario di piano regionale – febbraio 2022".

Si tratta di studio richiesto da Regione Piemonte e condotto dall'ATO-R Associazione d'ambito Torinese per il Governo dei rifiuti in collaborazione con gli uffici regionale (Settore Servizi Ambientali) e con il supporto scientifico di Arpa Piemonte finalizzato all'applicazione di un metodologia di analisi basata su metodica LCA.

Occorre evidenziare che la descrizione della metodologia adottata, i passi logici di analisi effettuati ed i risultati finali contenuti in tale studio sono stati comunque ricompresi nel capitolo 6 del RA.

E' opportuno richiamare che l'analisi degli scenari di Piano è strutturata in tre fasi.

La prima parte (fase 1) è quella relativa all'individuazione degli scenari con una analisi di congruità di questi scenari in base ai seguenti obiettivi:

- rispetto degli obiettivi comunitari in merito al tasso di riciclaggio (65%) ed al conferimento di rifiuti urbani in discarica (<10%);
- realizzare l'autosufficienza nello smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi e dei rifiuti del loro trattamento in ambiti territoriali ottimali.

La seconda parte (fase 2) riguarda l'analisi gli impatti ambientali utilizzando la metodologia LCA, come sopra descritto.

La terza parte (fase 3) analizza gli scenari aventi un minor impatto ambientale, secondo la metodologia LCA, valutandoli in funzione di altri parametri non analizzati precedentemente quali ad esempio la flessibilità del sistema al possibile trattamento di altri rifiuti e la coerenza con il Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti urbani.



Applicazione della metodologia LCA agli scenari di Piano Regionale

Febbraio 2022

Lo Studio è stato redatto a cura di Vita Tedesco e Palma Urso (ATOR) che hanno predisposto un Modello di Calcolo in Access per la comparazione tramite LCA degli scenari di pianificazione. Paolo Penna e Adele Celauro (Regione Piemonte) hanno fornito le informazioni tecniche relative agli scenari da analizzare e hanno contribuito all'impostazione del metodo di lavoro. L'aggiornamento dei Fattori Specifici di Emissione già definiti da ARPA Piemonte è stato curato da Enrico Brizio (ARPA Piemonte) che ha svolto anche la funzione di coordinamento e supervisione scientifica.

Indice

1	PREMESSA	4
2	LA METODOLOGIA LCA	5
2.1	Fasi dello Studio dell'impronta ambientale	5
2.1.1	Definizione dell'obiettivo e dell'ambito di applicazione	6
2.2	Inventario del ciclo di vita (LCI).....	6
2.3	Valutazione dell'impatto dell'impronta ambientale (LCIA).....	7
2.3.1	Le categorie di impatto	7
2.3.2	Classificazione e caratterizzazione	9
2.3.3	Normalizzazione e ponderazione.....	9
3	APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AGLI SCENARI DI PIANO	10
3.1	Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione.....	10
3.1.1	Gli scenari di Piano.....	10
3.1.2	Le categorie di impatto considerate	14
3.2	Analisi di inventario	14
3.2.1	Le ipotesi alla base della modellizzazione.....	15
3.2.2	I processi modellizzati nell'analisi LCA	19
3.2.2.1	La discarica di scarti	19
3.2.2.2	Produzione di CSS da RUR e coincenerimento	20
3.2.2.3	Incenerimento del RUR	22
3.2.2.4	Fabbrica dei materiali	24
3.2.2.5	Il trasporto	25
3.3	Valutazione dell'impatto dell'impronta ambientale (LCIA).....	26
4	RISULTATI	29
5	APPROFONDIMENTO SUL POSSIBILE RECUPERO DI MATERIA DALLA FABBRICA DEI MATERIALI	31
6	ANALISI DI SENSITIVITA' PER DIVERSE PERCENTUALI DI SCARTO RD	33
7	IL DATABASE PER LA COMPARAZIONE DI SCENARI DI PIANIFICAZIONE.....	36
7.1	Le tabelle	36
7.2	Le relazioni tra le tabelle	40
7.3	Le principali query.....	40
7.4	La rappresentazione grafica dei risultati	40

1 PREMESSA

Con D.G.R. n.14-2969 del 12 Marzo 2021, la Giunta della Regione Piemonte ha approvato l'atto di indirizzo in materia di programmazione della gestione dei rifiuti urbani e bonifiche con il quale viene avviato l'aggiornamento del Piano regionale di gestione dei Rifiuti Urbani e Bonifica delle Aree Inquinata (PRUBAI) al fine di adeguarlo alla disciplina nazionale di recepimento delle direttive europee sull'Economia circolare.

Con lettera prot n° 13.140.50/PIANOR/3-2014A/1 del 29/3/2021, la Direzione Ambiente della Regione Piemonte ha proposto alle ATO il loro coinvolgimento nel percorso di revisione della pianificazione regionale ed in particolare nella predisposizione della documentazione tecnica.

Con nota prot. 259 del 30/03/2021, in riscontro alla suddetta richiesta, il Presidente di ATOR ha confermato la disponibilità dell'Ente a fornire supporto operativo alla Regione Piemonte nella redazione del PRUBAI e del Rapporto Ambientale, documento che viene redatto nell'ambito della procedura di VAS (Valutazione Ambientale Strategica) alla quale il PRUBAI è sottoposto in quanto, ai sensi dell'art. 6, commi 1 e 2 del d.lgs. 152/2006, afferisce al settore della gestione dei rifiuti e definisce il quadro di riferimento per l'approvazione, l'autorizzazione, la localizzazione o comunque la realizzazione di progetti sottoposti a Valutazione di impatto ambientale.

Nel presente documento vengono illustrati gli esiti del lavoro, svolto dall'Area Tecnica di ATOR nell'ambito della VAS relativa al PRUBAI, che costituiscono i contenuti del Rapporto Ambientale.

Sulla base di quanto fatto da ARPA Piemonte nel 2016, e con le medesime assunzioni di carattere generale (compresi gran parte dei Fattori Specifici di Emissione degli impianti), ATOR ha elaborato un modello in Access che consente di effettuare la valutazione comparata degli scenari alternativi di trattamento/smaltimento dei rifiuti proposti dal Piano.

Il modello quantifica gli impatti ambientali (in termini di emissioni in acqua e in atmosfera e di consumi idrici) associati ai diversi tipi di impianti di trattamento e smaltimento, oltre che al trasporto dei rifiuti, e si basa come impostazione, sia pure con un approccio semplificato, sulle tecniche della LCIA (Life Cycle Impact Assessment), strumento comunemente utilizzato fin dalla prima metà degli anni '90 per la valutazione degli effetti ambientali di scenari di gestione di rifiuti.

2 LA METODOLOGIA LCA

Il modello LCA elaborato è basato sulla “*Raccomandazione della Commissione Europea n° 2013/179/UE del 9 aprile 2013 relativa all'uso di metodologie comuni per misurare e comunicare le prestazioni ambientali nel corso del ciclo di vita dei prodotti e delle organizzazioni*”, il cui scopo è quello di promuovere l'utilizzo dei metodi standardizzati per determinare l'impronta ambientale, ovvero l'impatto ambientale, di prodotti (Product Environmental Footprint – PEF) o servizi.

Le informazioni relative alla PEF sono fornite con l'obiettivo generale di ridurre gli impatti ambientali dei beni e dei servizi, tenendo conto delle attività della catena di approvvigionamento (dall'estrazione delle materie prime alla produzione, uso e gestione finale dei rifiuti).

Il succitato documento, attraverso la *Guida sull'impronta ambientale dei prodotti (PEF)* ad esso allegata, si propone di fornire una serie di orientamenti tecnici dettagliati per la conduzione di uno studio sulla PEF attraverso un metodo di modellazione basato sulla Life Cycle Assessment (LCA- Analisi del ciclo di vita) per quantificare gli impatti ambientali di flussi emissivi, energia e rifiuti associati ad un prodotto/servizio nel corso del proprio ciclo di vita.

Il metodo descritto è stato integrato dalla relazione tecnica del Centro comune di ricerca (JRC), il servizio della Commissione europea per la scienza e la conoscenza, dal titolo “*Suggerimenti per l'aggiornamento del metodo di calcolo dell'impronta ambientale (PEF)*”, Zampori, Pant, 2019, che tiene conto delle conoscenze acquisite nella fase pilota dell'impronta ambientale, organizzata dalla Commissione europea nel periodo 2013-2018.

2.1 FASI DELLO STUDIO DELL'IMPRONTA AMBIENTALE

Lo studio PEF, in conformità alle norme internazionali di riferimento (ISO 14040 e ISO14044) è basato sulle seguenti fasi:

- definizione dell'obiettivo e dell'ambito di applicazione;
- inventario del ciclo di vita (LCI);
- valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA);
- interpretazione dei risultati della PEF e comunicazione.

Nella fase della *definizione dell'obiettivo dello studio* sono stabiliti gli scopi, ossia l'applicazione prevista dello studio, i motivi del suo svolgimento e il pubblico cui è destinato. Le principali scelte metodologiche sono effettuate nella fase di definizione dell'ambito di applicazione, in cui si stabiliscono con esattezza, ad esempio, l'unità funzionale, il confine del sistema, le informazioni ambientali e tecniche aggiuntive, le ipotesi principali e i limiti.

La fase relativa *all'inventario del ciclo di vita (LCI)* prevede la raccolta dei dati e la procedura di calcolo per la quantificazione degli elementi in ingresso e in uscita del sistema allo studio. Gli elementi in ingresso e in uscita riguardano l'energia, le materie prime e altri elementi fisici, i prodotti, i coprodotti e i rifiuti, le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

Nella fase della *valutazione dell'impatto (LCIA)*, i risultati dell'LCI sono associati a categorie e indicatori di impatto ambientale. Ciò avviene mediante i metodi LCIA, che dapprima classificano le emissioni in categorie di impatto e poi le caratterizzano secondo unità comuni (ad esempio le emissioni di CO₂ e CH₄ sono espresse entrambe in emissioni equivalenti di CO₂ utilizzando il loro potenziale di riscaldamento globale). Esempi di categorie di impatto sono i cambiamenti climatici, l'acidificazione o l'uso delle risorse.

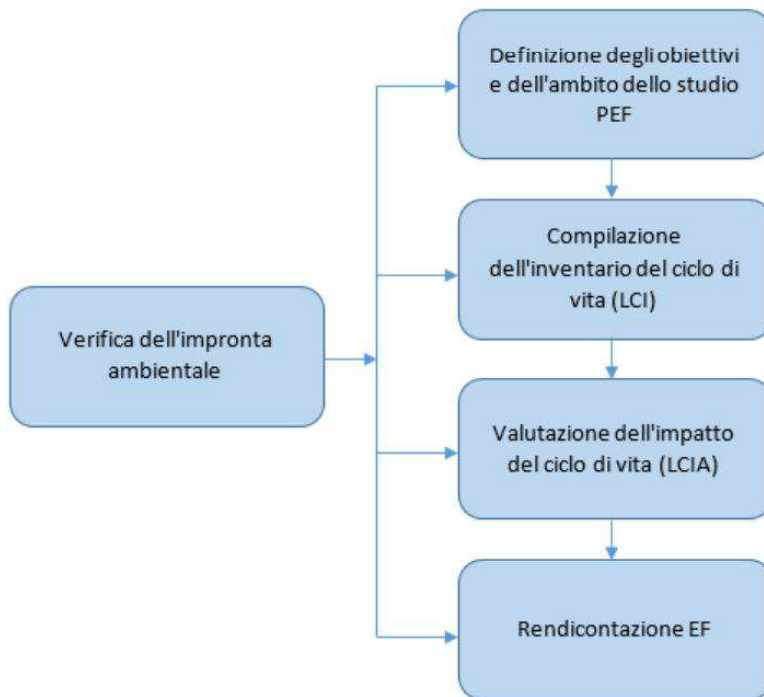


Fig. 1 – Fasi dello studio sull'impronta ambientale di prodotto (PEF)

2.1.1 Definizione dell'obiettivo e dell'ambito di applicazione

La definizione dell'obiettivo di uno studio PEF deve comprendere:

- le applicazioni previste;
- i motivi per cui si effettua lo studio e il contesto decisionale;
- i destinatari;
- il committente dello studio;
- l'identità del verificatore.

La definizione dell'ambito di uno studio PEF consiste nel descrivere dettagliatamente il sistema da valutare e le specifiche tecniche. La definizione deve essere coerente con gli obiettivi dello studio definiti e deve comprendere:

- l'unità funzionale e il flusso di riferimento
- il confine del sistema;
- le categorie di impatto dell'impronta ambientale;
- le informazioni aggiuntive che devono essere incluse;
- le ipotesi/i limiti.

2.2 INVENTARIO DEL CICLO DI VITA (LCI)

Si devono inventariare tutti gli elementi in ingresso e in uscita di materiali, energia e rifiuti e tutte le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo relativi alla catena di approvvigionamento del prodotto. Tale inventario è denominato "inventario del ciclo di vita".

L'inventario del ciclo di vita deve seguire la seguente classificazione dei flussi, che include:

- flussi elementari, ossia "materiale o energia che entra nel sistema allo studio, prelevati dall'ambiente senza alcuna preventiva trasformazione operata dall'uomo, materiale o energia che esce dal sistema allo studio, rilasciati nell'ambiente senza alcuna ulteriore trasformazione operata dall'uomo". (norma ISO 14040:2006, 3.12). I flussi elementari comprendono, per esempio, le

risorse reperite in natura o le emissioni nell'aria, nell'acqua, nel suolo che sono direttamente collegate ai fattori di caratterizzazione delle categorie di impatto dell'EF;

- flussi non elementari (o complessi), ossia tutti i restanti elementi in ingresso (per esempio, energia elettrica, materiali, processi di trasporto) e in uscita (per esempio, rifiuti, sottoprodotti) di un sistema che richiedono ulteriori operazioni di modellizzazione per essere trasformati in flussi elementari.

2.3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELL'IMPRONTA AMBIENTALE (LCIA)

Dopo aver fatto l'inventario del ciclo di vita (LCI) si deve valutare l'impatto dell'impronta ambientale per calcolare le prestazioni ambientali del prodotto, utilizzando tutte le categorie e i modelli di impatto dell'impronta ambientale. La valutazione dell'impatto dell'impronta ambientale consta di quattro fasi: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione. I risultati di uno studio PEF devono essere calcolati e riportati nella relazione sulla PEF come valori caratterizzati, normalizzati e ponderati per ciascuna categoria d'impatto EF e come punteggio complessivo unico sulla base dei fattori di ponderazione (di cui alla sezione 5.2.2 di [6]).

2.3.1 Le categorie di impatto

Lo scopo della valutazione dell'impatto dell'impronta ambientale consiste nel raggruppare e aggregare i dati dell'LCI in base ai rispettivi contributi a ogni categoria di impatto EF (Environmental Footprint). La scelta di tali categorie è esaustiva, nel senso che esse coprono un'ampia gamma di problemi ambientali inerenti alla catena di approvvigionamento del prodotto allo studio, in base ai requisiti generali di completezza di uno studio PEF.

Le categorie di impatto dell'impronta ambientale si riferiscono alle categorie degli effetti considerati in uno studio PEF e costituiscono il metodo di valutazione dell'impatto dell'impronta ambientale. Si usano modelli di caratterizzazione per quantificare il meccanismo ambientale tra l'LCI (ossia gli elementi in ingresso, quali le risorse, e le emissioni associate al ciclo di vita del prodotto) e l'indicatore di ciascuna categoria d'impatto EF. Ogni categoria di impatto si riferisce quindi a un dato modello indipendente di caratterizzazione.

La Tab. 1 presenta un elenco predefinito delle categorie di impatto dell'EF e dei relativi metodi di valutazione. L'elenco completo dei fattori di caratterizzazione da utilizzare è disponibile sulla Piattaforma Europea sull'analisi del ciclo vita all'indirizzo:

<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developer.xhtml>.

Nella relazione sulla PEF deve essere specificata la versione del pacchetto di riferimento dell'EF utilizzato nello studio.

Tab. 1 – Categorie di impatto EF con i rispettivi indicatori e modelli di caratterizzazione [6]

Categoria di impatto EF	Indicatore della categoria di impatto	Unità	Modello di caratterizzazione	Robustezza
Cambiamenti climatici, totali²³	Forzante radiativo come potenziale di riscaldamento globale (GWP 100)	Kg CO ₂ eq	Modello di riferimento di 100 anni dell'IPCC (sulla base di IPCC 2013)	I
Riduzione dello strato di ozono	Potenziale di riduzione dell'ozono (OPD)	kg CFC-11 eq	OPD allo stato stazionario come in (World Meteorological Organisation 2014 + integrazioni)	I
Tossicità per gli esseri umani - effetti cancerogeni	Unità tossica comparativa per gli esseri umani (CTU _h)	CTU _h	USEtox modello 2.1 (Fankte et al, 2017)	III
Tossicità per gli esseri umani - effetti non cancerogeni	Unità tossica comparativa per gli esseri umani (CTU _h)	CTU _h	USEtox modello 2.1 (Fankte et al, 2017)	III
Particolato	Impatto sulla salute umana	Incidenza della malattia	Metodo PM raccomandato dall'UNEP (UNEP 2016)	I
Radiazioni ionizzanti – effetti sulla salute umana	Efficienza dell'esposizione umana all'U ²³⁵	kBq U ²³⁵ eq	Modello degli effetti sulla salute umana elaborato da Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)	II
Formazione di ozono fotochimico, salute umana	Aumento della concentrazione di ozono troposferico	kg NMVOC eq	Modello LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) attuato in ReCiPe 2008	II
Acidificazione	Superamento accumulato	mol di H ⁺ eq	Superamento accumulato (Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008)	II
Eutrofizzazione, terrestre	Superamento accumulato	mol di N _{eq}	Superamento accumulato (Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008)	II
Eutrofizzazione, acque dolci	Frazione di nutrienti che raggiunge il comparto finale acque dolci (P)	kg P eq	Modello EUTREND (Struijs et al., 2009) attuato in ReCiPe	II
Eutrofizzazione, marina	Frazione di nutrienti che raggiunge il comparto finale acque marine (N)	kg N _{eq}	Modello EUTREND (Struijs et al., 2009) attuato in ReCiPe	II
Ecotossicità, acque dolci	Unità tossica comparativa per gli ecosistemi (CTU _e)	CTU _e	USEtox modello 2.1 (Fankte et al, 2017)	III
Uso del suolo	<ul style="list-style-type: none"> Indice di qualità del suolo²⁴ Produzione biotica Resistenza all'erosione Filtrazione meccanica Ricostituzione delle acque sotterranee 	<ul style="list-style-type: none"> Valore adimensionale (pt) kg di produzione biotica kg di suolo m³ d'acqua m³ di acque sotterranee 	Indice della qualità del suolo basato su Lanca (Beck et al. 2010 and Bos et al. 2016)	III
Uso d'acqua	Potenziale mancanza d'acqua per l'utilizzatore (consumo di acqua ponderato in funzione della mancanza)	m ³ mondo _{eq}	Available Water REMaining (AWARE) raccomandato da UNEP, 2016	III

2.3.2 Classificazione e caratterizzazione

La classificazione consiste nell'assegnare il materiale/energia in ingresso e in uscita inventariati nell'LCI alla pertinente categoria d'impatto EF. Per esempio, nella fase di classificazione, tutti gli elementi in ingresso/uscita che comportano emissioni di gas a effetto serra sono assegnati alla categoria "cambiamenti climatici".

Per caratterizzazione si intende il calcolo dell'entità del contributo che ciascun elemento in ingresso/uscita classificato rappresenta per le rispettive categorie d'impatto EF e l'aggregazione dei contributi all'interno di ogni categoria. Il calcolo si effettua moltiplicando i valori dell'LCI per il fattore di caratterizzazione corrispondente a ogni categoria d'impatto EF. I fattori di caratterizzazione sono specifici di ogni sostanza o risorsa e rappresentano l'intensità dell'impatto di una sostanza rispetto a una sostanza comune di riferimento per una categoria di impatto EF (indicatore di categoria di impatto).

A tutti gli elementi in ingresso e in uscita classificati nelle categorie di impatto EF devono essere assegnati Fattori di Caratterizzazione che rappresentano il contributo alla categoria per unità di elemento in ingresso o in uscita; a tal fine si utilizzano i fattori di caratterizzazione del pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0 (nel seguito EF 3.0 Reference Package) disponibili online all'indirizzo <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>.

2.3.3 Normalizzazione e ponderazione

La normalizzazione è la fase in cui i risultati della valutazione dell'impatto del ciclo di vita sono moltiplicati per i fattori di normalizzazione al fine di calcolare e confrontare l'entità dei loro contributi alle categorie di impatto dell'EF rispetto a un'unità di riferimento. I risultati che si ottengono sono adimensionali e normalizzati e riflettono gli oneri imputabili a un prodotto rispetto all'unità di riferimento.

Nell'ambito del metodo di calcolo della PEF, i fattori di normalizzazione sono espressi pro capite sulla base di un valore globale. I fattori di normalizzazione dell'EF da applicare sono quelli del pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0 (nel seguito EF 3.0 Reference Package) disponibili all'indirizzo <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>.

Negli studi PEF, la ponderazione è una fase obbligatoria che sta alla base dell'interpretazione e della comunicazione dei risultati dell'analisi. In questa fase i risultati normalizzati sono moltiplicati per una serie di fattori di ponderazione (in %) che riproducono l'importanza relativa percepita delle categorie d'impatto del ciclo di vita considerate. I risultati ponderati delle diverse categorie di impatto possono quindi essere confrontati per valutarne l'importanza relativa; è anche possibile aggregare i risultati di tutte le categorie dell'impatto del ciclo di vita al fine di ottenere un punteggio complessivo unico.

I fattori di ponderazione che devono essere utilizzati negli studi PEF sono quelli del pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0 (nel seguito EF 3.0 Reference Package) disponibili al seguente indirizzo: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>.

3 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AGLI SCENARI DI PIANO

3.1 DEFINIZIONE DELL'OGGETTO E CAMPO DI APPLICAZIONE

L'obiettivo dello studio è la valutazione comparata degli scenari alternativi di trattamento/smaltimento dei rifiuti proposti dal PRUBAI 2021.

Il modello prende in considerazione gli impatti associati ai diversi tipi di impianti di trattamento e smaltimento in termini di emissioni in atmosfera e in acqua e di consumo di risorse idriche, evidenziandone il contributo sulle categorie di impatto considerate.

La Funzione del Sistema è il trattamento dei rifiuti solidi urbani residui alla raccolta differenziata (RUR) e degli scarti della medesima.

L'Unità Funzionale corrisponde alla quantità di RUR stimato al 2035 (400.000 tonnellate) più gli scarti della raccolta differenziata (334.400).

I confini del sistema vanno dal trattamento del rifiuto presso gli impianti (produzione di CSS, incenerimento, fabbrica dei materiali, discarica), alla gestione dei prodotti (CSS) e degli scarti del trattamento compreso, ove presente, il trasporto del CSS, dei rifiuti e dei residui del trattamento (Fig. 2).

3.1.1 Gli scenari di Piano

Gli scenari considerati nel PRUBAI sono riportati nella Tabella che segue.

Alla base di tutti gli scenari vi è un'ipotesi di produzione di rifiuto totale (RU) pari a 2.000.000 di tonnellate, una raccolta differenziata pari all'80% della produzione di RU e di conseguenza un quantitativo di RUR (rifiuto urbano residuo) di 400.000 t.

Gli scarti della raccolta differenziata vengono inviati in parte a incenerimento (88%) in parte a discarica (12%) in tutti gli scenari, al netto della quota parte che viene utilizzata in arricchimento del CSS a valle del processo di produzione dello stesso. Il quantitativo complessivo di rifiuti da considerare nell'analisi LCA è pari, dunque, a 734.400 t (RUR e scarti Raccolta differenziata).

Si riporta di seguito una breve descrizione degli scenari considerati:

- Scenario A – *Incenerimento del Rifiuto Urbano Residuo tal quale*: tutto il rifiuto indifferenziato prodotto in Regione viene inviato ad incenerimento; lo scenario A è declinato come segue:
 - Scenario A1 – *Potenziamento dell'inceneritore esistente: tutti i territori inviano il RUR all'inceneritore di Torino*. Questo scenario prevede il potenziamento dell'inceneritore esistente, senza realizzazione di nuovi impianti. L'impianto di Torino, che produce energia elettrica, è anche collegato ad una rete di teleriscaldamento che consente il recupero di energia termica (cogenerazione).
 - Scenario A2 – *Nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione*: la provincia di Torino invia il RUR al proprio inceneritore; le province di Asti, Alessandria, Cuneo, Biella, Vercelli, Novara e Verbano-Cusio-Ossola inviano il RUR ad un secondo inceneritore per il quale si ipotizza il funzionamento in cogenerazione. Si ipotizza la localizzazione del secondo inceneritore nel quadrante nord-est.
 - Scenario A3 - *Nuovo inceneritore con produzione di energia elettrica termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione*: la provincia di Torino invia il RUR al proprio inceneritore; le province di Asti, Alessandria, Cuneo, Biella, Vercelli, Novara e Verbano-Cusio-Ossola inviano il RUR ad un secondo inceneritore per il quale si ipotizza il funzionamento in cogenerazione. Si ipotizza la localizzazione del secondo inceneritore nel quadrante sud-est.
- Scenario B – *Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali)*; lo scenario B è declinato come segue:
 - Scenario B1 – *Nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione*. Le province di Asti, Alessandria e Torino inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino; le province di Biella, Vercelli, Novara e VCO inviano il RUR ad un secondo inceneritore caratterizzato da produzione di energia elettrica e termica

e ubicato nel proprio quadrante geografico (quadrante nord-est); la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in cementifici regionali;

- Scenario B2 – *Nuovo inceneritore con produzione di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione.* Le province di Asti, Alessandria inviano il RUR ad un secondo inceneritore caratterizzato da produzione di energia elettrica e termica e ubicato nel proprio quadrante geografico (quadrante sud-est); le province di Biella, Vercelli, Novara, VCO e Torino inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino; la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in cementifici regionali.
- Scenario B3 – *Potenziamento dell'inceneritore esistente: tutti i territori, tranne Cuneo, inviano il RUR all'inceneritore di Torino.* Questo scenario prevede il potenziamento dell'inceneritore esistente, senza realizzazione di nuovi impianti. Tutte le province inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino ad eccezione della provincia di Cuneo che invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in cementifici regionali.
- Scenario C – *Incremento, rispetto allo Scenario B, della quota di RUR inviata a produzione di CSS (34% a fronte del 14% dello Scenario B) e invio di parte del CSS a cementifici ubicati fuori regione:* le province di Asti, Alessandria e Torino inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino; la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in impianti regionali; le province di Biella, Vercelli, Novara e VCO inviano il RUR ad impianti di produzione di CSS situati nel quadrante di riferimento e il CSS prodotto viene coincenerito in impianti fuori Regione; in questo scenario non è prevista la realizzazione di un secondo inceneritore.
- Scenario D – *Incenerimento, fabbrica dei materiali e produzione di CSS per cementifici:* le province di Asti, Alessandria, Biella, Vercelli, Novara e VCO inviano il RUR ad impianti di recupero di materia (fabbrica dei materiali); Torino invia il RUR al proprio inceneritore; la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in cementifici regionali. In questo scenario non è prevista la realizzazione di un secondo inceneritore.

Per gli scenari A2, A3, B1 e B2, che prevedono la realizzazione di un nuovo impianto di incenerimento, è stata condotta un'analisi di sensitività al fine di valutare l'incremento dell'impatto ambientale nel caso in cui il nuovo impianto produca solo energia elettrica (mancata realizzazione della rete di teleriscaldamento).

Sono stati così ottenuti quattro sottoscenari (A2-B, A3-B, B1-B e B2-B) speculari ai precedenti ma caratterizzati tutti dal mancato recupero di energia termica per il nuovo inceneritore:

- Scenario A2-B - *Nuovo inceneritore con produzione di energia elettrica ma senza teleriscaldamento nella zona Nord:* la provincia di Torino invia il RUR al proprio inceneritore; le province di Asti, Alessandria, Cuneo, Biella, Vercelli, Novara e Verbano-Cusio-Ossola inviano il RUR ad un secondo inceneritore per il quale si prevede la sola produzione di energia elettrica.
- Scenario A3-B - *Nuovo inceneritore con produzione di energia elettrica ma senza teleriscaldamento nella zona Sud:* la provincia di Torino invia il RUR al proprio inceneritore; le province di Asti, Alessandria, Cuneo, Biella, Vercelli, Novara e Verbano-Cusio-Ossola inviano il RUR ad un secondo inceneritore per il quale si prevede la sola produzione di energia elettrica.
- Scenario B1-B – *Nuovo inceneritore con recupero di sola energia elettrica da realizzarsi nella zona Nord della Regione.* le province di Asti, Alessandria e Torino inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino; la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in impianti regionali; le province di Biella, Vercelli, Novara e VCO inviano il RUR ad un secondo inceneritore caratterizzato da produzione di sola energia elettrica posizionato nel quadrante di riferimento (quadrante nord-est).
- Scenario B2-B – *Nuovo inceneritore con recupero di sola energia elettrica da realizzarsi nella zona Sud della Regione.* Le province di Asti, Alessandria inviano il RUR ad un secondo inceneritore caratterizzato da sola produzione di energia elettrica e ubicato nel proprio quadrante geografico (quadrante sud-est); le province di Biella, Vercelli, Novara, VCO e Torino inviano il RUR all'impianto di incenerimento di Torino; la provincia di Cuneo invia il RUR a impianti di produzione di CSS e il CSS viene coincenerito in cementifici regionali.

Tab. 2 – Tabelle di sintesi degli scenari di Piano – destino del RUR

Scenario	Provincia	Destinazione RUR	Produzione energia da incenerimento	
			elettrica	termica
Scenario A1	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV TO	sì	sì
	CN	TMV TO	sì	sì
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	sì	sì
Scenario A2	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV Nord-est	sì	sì
	CN	TMV Nord-est	sì	sì
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	sì	sì
Scenario A2-B	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV Nord-est	sì	no
	CN	TMV Nord-est	sì	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	sì	no
Scenario A3	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV Sud-est	sì	sì
	CN	TMV Sud-est	sì	sì
	NO, VC, BI, VCO	TMV Sud-est	sì	sì
Scenario A3 - B	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL,	TMV Sud-est	sì	no
	CN	TMV Sud- est	sì	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Sud-est	sì	no
Scenario B1	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV TO	sì	sì
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	sì	sì
Scenario B1 - B	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV TO	sì	sì
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	sì	no
Scenario B2	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV Sud-Est	sì	sì
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	sì	sì
Scenario B2 - B	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV Sud-Est	sì	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	sì	sì
Scenario B3	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV TO	sì	sì
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	sì	sì
Scenario C	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	TMV TO	sì	sì
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	Produzione CSS e invio a cementificio fuori Regione	-	-
Scenario D	TO	TMV TO	sì	sì
	AT, AL	Fabbrica materiali	-	-
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	-	-
	NO, VC, BI, VCO	Fabbrica materiali	-	-

Tab. 3 – Scenari di Piano – Gestione del RUR prodotto nelle varie province

Provincia		AL	AT	BI	CN	NO	TO	VB	VC	Totale
Produzione RUR (t)		40.000	20.000	16.000	56.000	32.000	204.000	16.000	16.000	400.000
Scenario A	Incenerimento (t)	40.000	20.000	16.000	56.000	32.000	204.000	16.000	16.000	400.000
	Produzione CSS (t)				56.000					56.000
Scenario B	Incenerimento (t)	40.000	20.000			32.000	204.000	16.000	16.000	344.000
	Produzione CSS (t)									56.000
Scenario C	Incenerimento (t)	40.000	20.000				204.000			264.000
	Produzione CSS (t)			16.000	56.000	32.000		16.000	16.000	136.000
Scenario D	Fabbrica materiali (t)	40.000	20.000	16.000		32.000		16.000	16.000	140.000
	Incenerimento (t)						204.000			204.000
	Produzione CSS (t)				56.000					56.000

Tab. 4 – Scenari di Piano – Destino del RUR e degli scarti di RD

	RUR (400.000 t)			Scarti RD (334.400 t)			Totale RUR + Scarti RD (734.400 t)			
	Incenerimento	Fabbrica materiali	TMB per produzione CSS	Incenerimento	Produzione CSS	Discarica	Incenerimento	Fabbrica materiali	TMB per produzione CSS	Discarica
Scenario A	400.000	-		294.272		40.128	694.272	-	0	40.128
Scenario B	344.000	-	56.000	283.304	12.463	38.632	627.304	-	68.463	38.632
Scenario C	264.000	-	136.000	275.560	21.263	37.576	539.560	-	157.263	37.576
Scenario D	204.000	140.000	56.000	283.304	12.463	38.632	487.304	140.000	68.463	38.632

Tab. 5 – Scenari di Piano – Fabbisogno impiantistico (include RUR, scarti di RD e scarti della produzione di CSS e della fabbrica dei materiali).

	Fabbisogno impiantistico (t)					Fabbisogno attualmente non soddisfatto in Regione Piemonte (t)	
	Incenerimento	Fabbrica materiali	TMB per produzione CSS	Discarica	Coincenerimento CSS	Incenerimento*	Coincenerimento CSS**
Scenario A	694.272	-	-	40.128		244.272	
Scenario B	627.304	-	68.463	57.164	33.368	177.304	0
Scenario C	539.560	-	157.263	84.108	70.168	89.560	36.800
Scenario D	539.104	140.000	68.463	115.964	33.368	89.104	0

*Il fabbisogno ulteriore di incenerimento è calcolato considerando cautelativamente una capacità di incenerimento installata pari a 450.000 t/anno.

**Il fabbisogno ulteriore di coincenerimento di CSS è calcolato considerando cautelativamente una capacità di assorbimento da parte dei cementifici piemontesi in grado di soddisfare le esigenze della sola provincia di Cuneo.

Tab. 6 – Scenari di Piano – Confronto tra scenari sulla base di alcuni indicatori

Scenari	Produzione totale rifiuti (t)	RUR (t)	scarti RD (t)	Rifiuti da smaltire (t)	Uso della discarica		Recupero di materia	
					Fabbisogno (t)	% su produzione totale rifiuti	t	% su produzione totale rifiuti
Scenario A	2.000.000	400.000	334.400	734.400	40.128	2,0%	1.423.225	71,2%
Scenario B				734.400	57.164	2,9%	1.408.021	70,4%
Scenario C				734.400	84.108	4,2%	1.388.100	69,4%
Scenario D				734.400	115.964	5,8%	1.417.397	70,9%

3.1.2 Le categorie di impatto considerate

Per la valutazione degli impatti generati dal sistema studiato sull'ambiente e sulla salute umana, sono state prese in considerazione 11 categorie:

- Acidificazione;
- Cambiamento climatico;
- Ecotossicità delle acque superficiali;
- Impatto sulla salute da materiale particolato;
- Eutrofizzazione marina;
- Eutrofizzazione acque superficiali;
- Eutrofizzazione Terrestre;
- Tossicità umana- effetti cancerogeni;
- Tossicità umana- effetti non cancerogeni;
- Formazione fotochimica di ozono- salute umana;
- Consumo di acqua.

Gli indicatori di impatto di ciascuna categoria e i modelli di caratterizzazione utilizzati per il calcolo sono quelli raccomandati dalla *Guida sull'impronta ambientale dei prodotti (Product Environmental Footprint – PEF – guide)* sviluppata per la Commissione Europea dal Joint Research Centre e incorporata nella Raccomandazione europea relativa all'uso di metodologie comuni per misurare e comunicare le prestazioni ambientali del ciclo di vita dei prodotti e delle organizzazioni (Commissione Europea, 2013), come integrata dalla relazione tecnica del Centro comune di ricerca (JRC), il servizio della Commissione europea per la scienza e la conoscenza, dal titolo "*Suggerimenti per l'aggiornamento del metodo di calcolo dell'impronta ambientale (PEF)*", Zampori, Pant, 2019, che tiene conto delle conoscenze acquisite nella fase pilota dell'impronta ambientale, organizzata dalla Commissione europea nel periodo 2013-2018.

3.2 ANALISI DI INVENTARIO

Il presente paragrafo riporta l'inventario di tutti i flussi di materiali, di energia e delle emissioni nell'ambiente associati alle fasi incluse nei confini del sistema. Ai fini della modellizzazione sono stati individuati i seguenti macro-processi di trattamento del rifiuto residuo alla raccolta differenziata (RUR) e i relativi sottoprocessi, per i quali di seguito verranno riportati i dati e le assunzioni (Fig. 2):

- Produzione di Combustibile Solido Secondario (CSS) da RUR e coincenerimento: il CSS prodotto viene inviato ad impianti di coincenerimento (cementifici) e gli scarti di produzione vengono smaltiti in discarica; è stato considerato il trasporto in caso di invio a coincenerimento in impianti fuori regione;
- Incenerimento del RUR e di quota parte degli scarti della raccolta differenziata (88%): incenerimento del RUR in inceneritori di rifiuti urbani e gestione dei residui del trattamento (pericolosi e non); è stato considerato il trasporto del RUR (tra quadranti geografici diversi, come si dirà meglio nel seguito) e delle scorie da incenerimento agli impianti di trattamento ubicati fuori regione;
- Fabbrica dei materiali: recupero di materia dal RUR (carta/cartone, plastica, metalli, altro) e invio degli scarti di trattamento in parte a incenerimento e in parte a discarica.

La discarica per rifiuti non pericolosi accoglierà, oltre agli scarti della produzione del CSS e della Fabbrica di Materiali, anche una quota residuale degli scarti del trattamento della raccolta differenziata (12%).

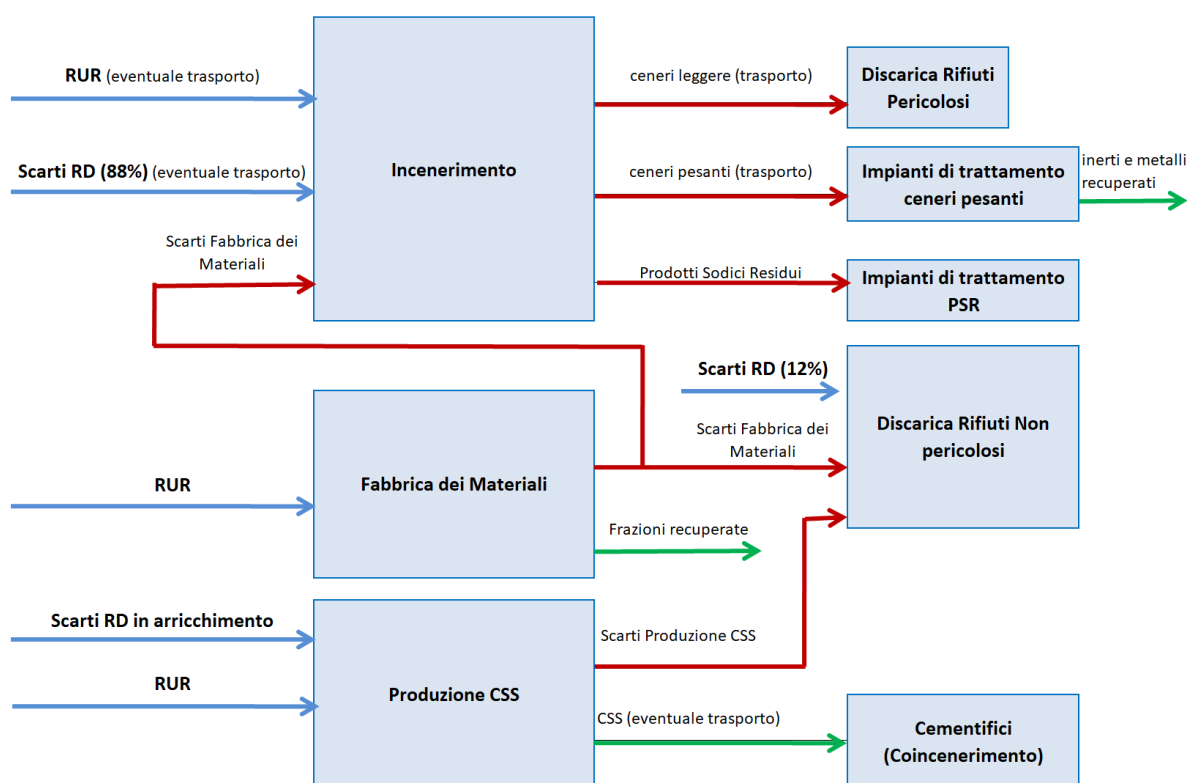


Fig. 2 – Schema di modellizzazione dei singoli processi nell'applicazione del metodo LCA.

3.2.1 Le ipotesi alla base della modellizzazione

Le assunzioni alla base del modello elaborato sono le seguenti:

1. **Produzione di rifiuti:** Alla base di tutti gli scenari di Piano vi è un'ipotesi di produzione di rifiuto totale (RU) pari a 2.000.000 di tonnellate, una raccolta differenziata pari all' 80% della produzione di RU e di conseguenza un quantitativo di RUR (rifiuto urbano residuo) di 400.000 t.
2. **RUR:** La valutazione ambientale degli scenari è stata effettuata considerando la gestione della frazione indifferenziata residuale dei rifiuti urbani (RUR) e tutti gli scarti di processo ad essa correlati (scarti da impianti di produzione di CSS e fabbrica dei materiali); i quantitativi considerati negli scenari sono basati sulle stime di produzione del rifiuto e degli obiettivi di raccolta differenziata al 2035 e pari a 400.000 t/anno.
3. **Raccolta differenziata e FORSU:** trattandosi di un'analisi di tipo comparativo tra diverse alternative di gestione dei rifiuti, è stata tralasciata la quantificazione degli effetti legati alla gestione della FORSU e delle altre frazioni di raccolta differenziata in quanto rappresentano un'invariante per tutti gli scenari in termini di quantitativi trattati e tecnologie di trattamento; analogamente sono stati tralasciati gli effetti ambientali positivi delle attività legate al riciclaggio dei materiali recuperati (solitamente impiegate nelle LCA per quantificare le emissioni sostituite della produzione ex-novo di questi materiali).

Scarti della raccolta differenziata: gli scarti della raccolta differenziata sono stati stimati in prima battuta nella misura del 20,9% del totale raccolto; è stata poi effettuata un'analisi di sensitività sugli scenari di Piano per valutare gli effetti ambientali di una eventuale riduzione della percentuale di scarto (si veda Cap.6- ANALISI DI SENSITIVITA' PER DIVERSE PERCENTUALI DI SCARTO RD). Essi vengono inviati in parte a incenerimento (88%) in parte a discarica (12%) in tutti gli scenari, al netto della quota parte che viene utilizzata in arricchimento del CSS a valle del processo di produzione dello stesso. Per gli scarti della raccolta differenziata viene considerato il trasporto laddove destinati a inceneritori ubicati fuori dal quadrante geografico di riferimento (Tab.8); il trasporto non viene invece considerato per lo smaltimento in discarica (si ipotizza che ogni quadrante disponga di una discarica in loco).

4. **Scorie, ceneri, PSR:** si è assunto che le scorie da incenerimento (ceneri pesanti o bottom ash) vengano inviate integralmente a recupero (come avviene oggi per l'inceneritore di Torino); sono state pertanto considerate le emissioni di CO₂ evitate per effetto del recupero di materiale inerte e materiale ferroso; in assenza di dati inerenti le emissioni da impianti di trattamento delle ceneri (ceneri leggere o fly) si è ipotizzato in via cautelativa che vengano smaltite in discarica per rifiuti pericolosi. Si è ipotizzato invece che i PSR (prodotti sodici residui) vengano recuperati in toto dal momento che il processo NEUTREC effettuato presso l'impianto Solval di Livorno (al quale vengono attualmente destinati i prodotti dell'inceneritore di Torino) produce flussi di scarto minimi (10%) e ha impatto nullo sulle risorse idriche; in sostanza sono stati trascurati gli effetti ambientali (positivi e negativi) legati al recupero del PSR.
5. Per la **fabbrica dei materiali** sono stati trascurati, in prima battuta, gli effetti ambientali legati al possibile recupero come materia delle frazioni separate (carta/cartone, plastica, metalli) a causa delle perplessità legate alla qualità dei suddetti materiali ed in particolare della carta, che rappresenta oltre il 73% del totale dei materiali separati. È stato poi condotto un approfondimento valutando gli effetti ambientali del recupero di materia che potrebbe derivare dai materiali selezionati (si veda cap.5).
6. **Consumo di risorse:** non sono stati considerati gli impatti conseguenti al consumo di risorse per la realizzazione di eventuali nuovi impianti, né i consumi di materie negli impianti di trattamento/smaltimento (es. reagenti per il trattamento fumi nell'impianto di incenerimento).
7. **Consumo idrico:** è stato stimato il consumo idrico unitario per ciascun processo (m³/t rifiuto trattato).
8. **Trasporti.** Sono stati considerati gli effetti del trasporto del RUR, degli scarti delle raccolte differenziate e degli scarti degli impianti di trattamento del RUR verso inceneritori siti in regione ma in aree geografiche diverse da quelle di produzione (quadranti sul modello della precedente pianificazione); è stato inoltre considerato il trasporto del CSS e delle scorie da incenerimento in impianti di recupero situati fuori regione (cfr par. 3.2.2.5).
9. **Emissioni:** Nel modello elaborato, ciascun processo è stato scomposto nei suoi sottoprocessi (Fig. 2) e per ciascuno di essi è stato valutato il carico ambientale attraverso quantificazione delle emissioni in aria e acqua. Per quanto riguarda la quantificazione delle emissioni sostituite si è tenuto conto della produzione di energia dagli impianti di incenerimento (al netto degli autoconsumi) e dal recupero del biogas da discarica, e della sostituzione di combustibili convenzionali nel coincenerimento del CSS. A questi processi si è applicato il metodo di allocazione dell'impatto ambientale evitato, detraendo tutti gli impatti che sarebbero stati generati per produrre la stessa quantità di energia elettrica/termica in altri impianti esterni al sistema integrato di gestione dei rifiuti.

Tab. 7 – Assunzione fatte nella definizione dei flussi in entrata agli impianti e in uscita dagli stessi.

Processo/Impianto	Impianto di riferimento	parametro	numeratore	denominatore	valore
Selezione RD	Impianti selezione RD regionali	produzione di scarti da RD	scarti selezione	rifiuti in ingresso	20,9%
		scarti selezione RD a incenerimento	scarti selezione a incenerimento	scarti selezione	88,0%
		scarti selezione RD a discarica	scarti selezione a discarica	scarti selezione	12,0%
Incenerimento	Inceneritore di Torino	ceneri pesanti - produzione	ceneri pesanti prodotte	rifiuti in ingresso	21,1%
		ceneri leggere - produzione	ceneri leggere prodotte	rifiuti in ingresso	2,0%
		PSR - produzione	PSR prodotto	rifiuti in ingresso	1,7%
		rottami ferrosi - produzione	rottami ferrosi	rifiuti in ingresso	0,6%
Trattamento scorie inceneritore	Impianto di recupero	ceneri pesanti - recupero materia	ceneri di fondo recuperate	ceneri pesanti in ingresso	96,7%
		ceneri pesanti - incombusti	incombusti a incenerimento	ceneri pesanti in ingresso	2,5%
		ceneri pesanti - perdite (acqua)	acqua evaporata	ceneri pesanti in ingresso	0,8%
		ceneri pesanti - scarti a discarica	ceneri pesanti - scarti a discarica	ceneri pesanti - scarti	0,0%
Recupero PSR inceneritore	Impianto Solval di Livorno	PSR - recupero materia	PSR recuperato	PSR prodotto	100,0%
Smaltimento ceneri leggere inceneritore	Discarica rifiuti pericolosi	ceneri leggere - a discarica	ceneri leggere a discarica	ceneri leggere prodotte	100,0%
produzione CSS	produzione CSS - Cuneo	CSS da RU - produzione	CSS prodotto	RU in ingresso	37,3%
		CSS da RU - perdite di processo	perdite di processo	RU in ingresso	29,6%
		CSS da RU - scarti	scarti produzione CSS	RU in ingresso	33,1%
		CSS da RU - scarti a discarica	CSS da RU - scarti a discarica	scarti produzione CSS	100,0%
		Arricchimento CSS con scarti RD	Scarti da RD per arricchimento	RU in ingresso a impianto CSS	22,3%
	produzione CSS - Cavaglià	CSS da RU - produzione	CSS prodotto	RU in ingresso	35,0%
		CSS da RU - scarti	scarti produzione CSS	RU in ingresso	35,0%
		CSS da RU - perdite di processo	perdite di processo	RU in ingresso	30,0%
		CSS da RU - scarti a discarica	CSS da RU - scarti a discarica	scarti produzione CSS	100,0%
		Arricchimento CSS con scarti RD	Scarti da RD per arricchimento	RU in ingresso a impianto CSS	11,0%
Fabbrica materiali	Dati di letteratura	recupero materia	materiale recuperato	rifiuti in ingresso	21,0%
		scarti processo	scarti processo	rifiuti in ingresso	79,0%
		scarti processo a discarica	scarti a discarica	scarti processo	53,2%
		scarti processo a incenerimento	scarti a incenerimento	scarti processo	46,8%

Tab. 8 – Scenari di Piano – ipotesi di base per l'applicazione dell'analisi LCA

	Provincia	RUR		Recupero energia da incenerimento		Trasporto scarti RD a incenerimento (1)	Trasporto CSS a coincenerimento (2)
		Destinazione	Trasporto (1)	elettrica	termica		
Scenario A1	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV TO	si	si	si	si	no
	CN	TMV TO	si	si	si	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	si	si	si	si	no
Scenario A2	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV Nord-est	si	si	si	si	no
	CN	TMV Nord-est	si	si	si	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	no	si	si	no	no
Scenario A2-B	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV Nord-est	si	si	no	si	no
	CN	TMV Nord-est	si	si	no	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	no	si	no	no	no
Scenario A3	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV Sud-est	no	si	si	no	no
	CN	TMV Sud-est	si	si	si	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Sud-est	si	si	si	si	no
Scenario A3 - B	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL,	TMV Sud-est	no	si	no	no	no
	CN	TMV Sud- est	si	si	no	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Sud-est	si	si	no	si	no
Scenario B1	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV TO	si	si	si	si	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	no	si	si	no	no
Scenario B1 - B	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV TO	si	si	si	si	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV Nord-est	no	si	no	no	no
Scenario B2	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV Sud-est	no	si	si	no	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	si	si	si	si	no
Scenario B2 - B	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV Sud-est	no	si	no	no	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	si	si	si	si	no
Scenario B3	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV TO	si	si	si	si	no
	CN	Produzione CSS e	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	TMV TO	si	si	si	si	no
Scenario C	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	TMV TO	si	si	si	si	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	si
Scenario D	TO	TMV TO	no	si	si	no	no
	AT, AL	Fabbrica materiali	no	-	-	si	no
	CN	Produzione CSS e invio a cementificio	no	-	-	si	no
	NO, VC, BI, VCO	Fabbrica materiali	no	-	-	si	no

(1)Per il RUR e gli scarti della raccolta differenziata avviati a incenerimento fuori quadrante si ipotizza una distanza A/R di 200 km

(2)Per il CSS avviato a recupero in cementifici fuori regione si ipotizza una distanza A/R di 600 km.

Tutti i dati emissivi (in acqua e aria) e di consumo idrico relativi a ciascun processo sono riferiti ad una tonnellata di rifiuto (Fattori Specifici di Emissione). Moltiplicando i Fattori di emissione Unitari per le tonnellate di rifiuto in input a ciascun processo, si arriva ad una quantificazione degli impatti totali su base annua.

Sono stati utilizzati i Fattori Specifici di Emissione definiti da ARPA nell'ambito del Rapporto Ambientale 2016 e aggiornati nel 2018 in fase di Monitoraggio del Piano. Sono stati ulteriormente aggiornati al 2019-2020 i fattori emissivi relativi all'inceneritore e al coincenerimento del CSS. Successivamente è stata effettuata la valutazione complessiva degli impatti attesi per ogni singolo scenario, cumulando il contributo di ogni singolo impianto/processo, in modo da poter enucleare il contributo di ciascuno di essi agli indicatori di impatto.

3.2.2 I processi modellizzati nell'analisi LCA

Si riportano di seguito le assunzioni fatte nella modellizzazione dei diversi processi considerati (impiantistica di trattamento/smaltimento e trasporto) e i Fattori Specifici di Emissione utilizzati.

3.2.2.1 La discarica di scarti

Il D. Lgs. 3 settembre 2020, n. 121, recante "Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti" ed entrato in vigore il 29 settembre 2020, ha introdotto modifiche sostanziali nella disciplina delle discariche di rifiuti dettata dal D. Lgs. n. 36/2003, con l'obiettivo di ridurre progressivamente lo smaltimento in discarica dei rifiuti urbani, fino al 10% o a una percentuale inferiore entro il 2035, e di vietare dal 2030 che rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata e destinati al riciclaggio o al recupero finiscano in discarica.

Nella tabella che segue sono riportati i Fattori Specifici di Emissione per l'impianto di discarica calcolati da ARPA Piemonte; il Fattore Emissivo Specifico per la CO₂ è stato calcolato tenendo conto del quantitativo di energia elettrica prodotta attraverso il biogas e del beneficio ambientale dovuto al mancato prelievo della corrispondente quota dalla rete elettrica (Tab. 9).

Tab. 9 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per l'impianto di discarica.

Matrice ambientale	Parametro	Processo	UM	Valore	Fonte
Atmosfera	Cd	Discarica	Kg/t	2,40E-09	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CH ₄	Discarica	Kg/t	1,60E+01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CO	Discarica	Kg/t	5,05E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CO ₂ ⁽¹⁾	Discarica	Kg/t	-4,80E+01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	H ₂ S	Discarica	Kg/t	5,49E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	HCl	Discarica	Kg/t	1,88E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	HF	Discarica	Kg/t	5,55E-04	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	Hg	Discarica	Kg/t	1,92E-08	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	IPA	Discarica	Kg/t	6,92E-08	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	N ₂ O	Discarica	Kg/t	3,61E-06	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	NH ₃	Discarica	Kg/t	6,92E-04	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	NOx	Discarica	Kg/t	4,29E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	Pb	Discarica	Kg/t	3,79E-07	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	PCDD	Discarica	Kg/t	2,40E-10	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	polveri totali	Discarica	Kg/t	4,63E-04	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	Sb As altri	Discarica	Kg/t	7,16E-07	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	SOT	Discarica	Kg/t	1,95E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	SOx	Discarica	Kg/t	7,81E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
Acque	As	Discarica	Kg/t	5,62E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	Cr	Discarica	Kg/t	1,50E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	Cu	Discarica	Kg/t	4,75E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	fenoli	Discarica	Kg/t	2,10E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	Fosforo totale	Discarica	Kg/t	1,95E-05	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	N totale	Discarica	Kg/t	1,38E-02	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
	NH ₃	Discarica	Kg/t	4,07E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	Ni	Discarica	Kg/t	2,94E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]
Zn	Discarica	Kg/t	6,60E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 38 [14]	

⁽¹⁾ Il valore è ottenuto sommando alla CO₂ fossile emessa (pari a 0 kg/t), il contributo per la produzione di energia elettrica (-6,03E+01 kg/t), quello per il consumo di energia elettrica (9,15E+00 kg/t) e quello per il consumo di gasolio (3,16E+00 kg/t).

3.2.2.2 Produzione di CSS da RUR e coincenerimento

Il processo prevede la possibilità di recuperare la frazione secca del rifiuto urbano in impianti di trattamento meccanico biologico di biostabilizzazione e bioessiccazione, al fine di produrre Combustibile Solido Secondario (CSS) da utilizzare in cementifici in sostituzione del combustibile convenzionale.

In particolare, in Piemonte è stato autorizzato l'utilizzo di CSS di qualità nel cementificio Buzzi di Robilante (CN), del gruppo Buzzi Unicem.

Produzione di CSS

La produzione del CSS avviene attraverso impianti di trattamento meccanico-biologico.

Allo stabilimento di Robilante vengono attualmente ritirati due tipi diversi di CSS, molto simili per PCI e contenuto di cloro e metalli:

- quello proveniente dall'impianto di bioessiccazione di Villafalletto dove i RUR vengono tritati e accumulati in un ambiente chiuso a ventilazione forzata; attraverso un processo aerobico, le componenti umide ancora presenti si trasformano e liberano il calore necessario per essiccare i materiali da recuperare; la frazione secca (denominata parte 'amabilis') viene addizionata con plastiche provenienti dall'industria;
- quello definito CDR-P (Combustibile derivato da rifiuti - Pirelli) proveniente dall'impianto dedicato di Roccavione, dove affluisce la frazione secca dell'impianto di biostabilizzazione di Borgo S. Dalmazzo. Il CDR-P si ottiene miscelando la parte secca dei rifiuti solidi urbani con le componenti ad elevato potere calorifico, costituite da pneumatici fuori uso e plastiche non clorurate. Il materiale proveniente dall'impianto di biostabilizzazione, contenente ancora una residua umidità (25%) viene vagliato, frantumato ed essiccato fino ad un'umidità 7-10% e arricchito con circa il 20% di plastiche e gomme fino ad innalzare il P.C.I. fino a 5.000-5.200 kcal/kg.

I Fattori Specifici di Emissione per la produzione del CSS sono stati stimati da ARPA sulla base dei dati degli impianti della provincia di Cuneo nell'ambito della redazione del Piano Regionale 2016 e aggiornati nel 2019 per la componente atmosfera [12]; per la valutazione delle emissioni in acqua sono stati assunti i Fattori Specifici di Emissione del processo di bioessiccazione [14].

La produzione di CSS a partire del RUR viene ipotizzata nei seguenti scenari:

- Scenari B e D: Provincia di Cuneo;
- Scenari C: Province di Cuneo, Biella, Novara, Verbania e Vercelli.

Negli Scenari di Piano si è ipotizzato che il cementificio Buzzi possa assorbire tutta la produzione di CSS della provincia di Cuneo, pari a circa 33.000 tonnellate/anno.

Si evidenzia che una quota parte degli scarti della raccolta differenziata viene utilizzata per l'arricchimento del CSS (gli scarti della raccolta differenziata utilizzati in questo modo sono stati stimati pari al 22,3% del rifiuto in ingresso all'impianto di produzione di CSS per l'impianto a servizio della provincia di Cuneo, e al 11% del rifiuto in ingresso per l'impianto cui afferirebbero le province della zona nord).

Tab. 10 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per l'impianto di produzione del CSS

Matrice ambientale	Parametro	UM	Valore	Fonte
Atmosfera	CH4	Kg/t	1,75E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CO	Kg/t	9,37E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CO2	Kg/t	6,88E+01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	H2S	Kg/t	1,12E-03	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	N2O	Kg/t	2,00E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	NH3	Kg/t	7,44E-03	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	Nox	Kg/t	3,75E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	polveri totali	Kg/t	1,79E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
SOT	Kg/t	1,75E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]	
Acque	As	kg/t	2,96E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	Cd	Kg/t	3,48E-05	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	Cu	kg/t	2,75E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	fenoli	kg/t	5,00E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	Fosforo totale	kg/t	5,45E-03	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	N totale	kg/t	7,90E-05	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	NH3	kg/t	2,95E-03	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	Ni	kg/t	2,75E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
	Pb	Kg/t	5,40E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]
Zn	kg/t	2,96E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 35 [14]	
Consumo di risorse idriche	Consumo di acqua	m³/t	7,57E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]

Coincenerimento del CSS

Il CSS viene utilizzato nel cementificio in sostituzione del pet-coke.

Per la valutazione dell'impatto in atmosfera del coincenerimento del CSS nei cementifici sono stati utilizzati i Fattori Specifici di Emissione calcolati da ARPA nel 2016 sulla base dei dati al camino dello stabilimento BUZZI UNICEM di Robilante (CN) e aggiornati nel 2021.

L'anidride carbonica CO₂ è emessa in quantità molto più contenuta dal CSS rispetto al petcoke a causa della sua composizione elementare (l'atomo di carbonio è presente nel CSS in percentuali inferiori rispetto ad alcuni combustibili fossili, tra cui carbone e petcoke). Pertanto il fattore di emissione della CO₂ è inferiore a zero; inferiori a zero sono anche altri valori di emissione tra cui gli ossidi di zolfo SO_x, gli ossidi di azoto NO_x, il metano (CH₄) e le diossine.

La stima del beneficio ambientale ottenuto a seguito della sostituzione del combustibile fossile con un quantitativo equivalente (in termini di potere calorifico) di CSS è stata fatta da Arpa nel 2021 prendendo come riferimento bibliografico lo studio della European Commission – Directorate General Environment "Refuse derived fuel, current practice and perspectives" del 2003 [15].

Tab. 11 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per l'impianto di coincenerimento del CSS

Matrice ambientale	Parametro	UM	Valore	Fonte
Atmosfera	Acido cianidrico	kg/t	4,56E-04	Arpa 2021 [15]
	Antracene	Kg/t	2,84E-06	Arpa 2021 [15]
	Benzene	Kg/t	6,79E-04	Arpa 2021 [15]
	Cd	Kg/t	1,09E-06	Arpa 2021 [15]
	CH4	kg/t	-6,66E+00	Arpa 2021 [15]
	CO	Kg/t	0,00E+00	Arpa 2021 [15]
	CO2	Kg/t	-1,47E+03	Arpa 2021 [15]
	H2S	Kg/t	0,00E+00	Arpa 2021 [15]
	HCl	Kg/t	1,31E-02	Arpa 2021 [15]
	HF	Kg/t	8,70E-04	Arpa 2021 [15]
	Hg	Kg/t	4,21E-04	Arpa 2021 [15]
	IPA	Kg/t	5,24E-07	Arpa 2021 [15]
	N2O	Kg/t	5,20E-03	Arpa 2021 [15]
	Naftalene	Kg/t	1,17E-04	Arpa 2021 [15]
	NH3	Kg/t	5,14E-02	Arpa 2021 [15]
	NOx	Kg/t	-3,60E-01	Arpa 2021 [15]
	Pb	Kg/t	4,13E-06	Arpa 2021 [15]
	PCB DL	Kg/t	6,22E-11	Arpa 2021 [15]
	PCDD	Kg/t	-7,00E-12	Arpa 2021 [15]
	polveri totali	Kg/t	2,31E-02	Arpa 2021 [15]
	Sb, As altri	Kg/t	-1,78E-04	Arpa 2021 [15]
	SOT	Kg/t	3,02E-01	Arpa 2021 [15]
	SOx	Kg/t	-1,85E-01	Arpa 2021 [15]

3.2.2.3 Incenerimento del RUR

Il processo è stato modellizzato come segue:

- Il RUR tal quale viene inviato a incenerimento; i fattori emissivi sono stati calcolati da ATO-R facendo riferimento all'inceneritore di Torino;
- Il processo di incenerimento produce i seguenti flussi di rifiuti in uscita (cfr Tab. 12):
 - Scorie o ceneri di fondo (bottom ash), pari al 21,1% del rifiuto in ingresso all'impianto, che vengono inviate tutte ad impianti di recupero;
 - Rottami ferrosi, pari allo 0,6% del rifiuto in ingresso, avviati a recupero di materia;
 - Ceneri leggere (fly ash), pari al 2% del rifiuto in ingresso, inviate tutte in discarica per rifiuti pericolosi;
 - Prodotti Sodici Residui (PSR) pari all'1,7% del rifiuto in ingresso inviate integralmente a recupero.

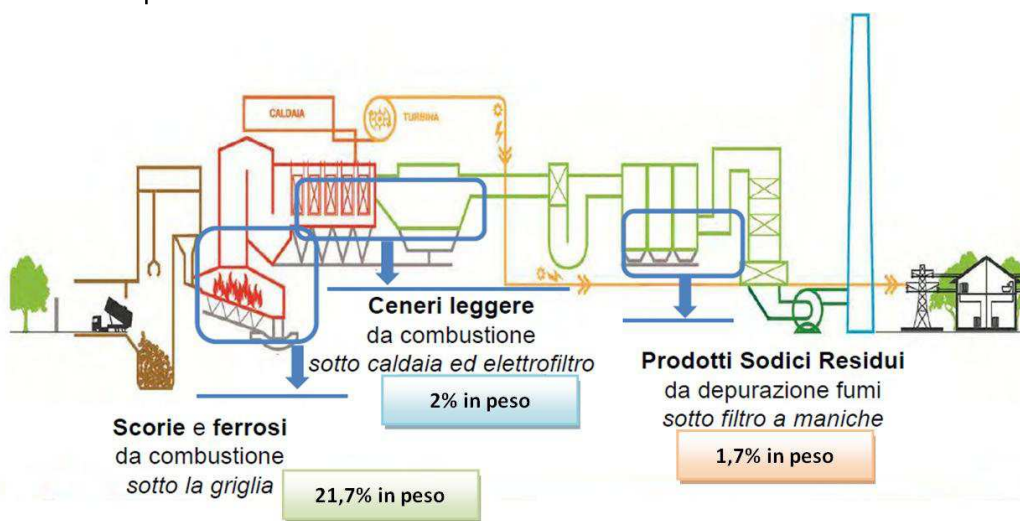


Fig. 3 – I residui dell'incenerimento (fonte: TRM).

Tab. 12 – Residui in uscita dall'inceneritore negli anni 2014-2020 (Fonte: Rapporti Sintetici Trimestrali inviati ad ATO-R).

anno	rifiuti trattati (t)	scorie		ceneri		PSR		Rottame ferroso		Residui totali	
		t	% sul rifiuto trattato	t	% sul rifiuto trattato	t	% sul rifiuto trattato	t	% sul rifiuto trattato	t	% sul rifiuto trattato
2014	393.347	93.668	23,8%	8.967	2,3%	5.049	1,3%	520	0,1%	108.204	27,5%
2015	468.361	104.257	22,3%	8.798	1,9%	5.911	1,3%	1.093	0,2%	120.059	25,6%
2016	449.954	97.073	21,6%	8.380	1,9%	7.133	1,6%	890	0,2%	113.476	25,2%
2017	514.921	112.978	21,9%	9.132	1,8%	7.749	1,5%	609	0,1%	130.468	25,3%
2018	530.041	114.590	21,6%	10.049	1,9%	7.504	1,4%	340	0,1%	132.483	25,0%
2019	559.459	118.967	21,3%	11.131	2,0%	8.509	1,5%	1.377	0,2%	139.983	25,0%
2020	564.013	118.879	21,1%	11.557	2,0%	9.349	1,7%	3.328	0,6%	143.113	25,4%

L'inceneritore

Per la determinazione dei flussi di rifiuto in uscita e dei Fattori di Emissione Specifici (Tab. 13) si è fatto riferimento all'inceneritore di Torino, trascurando i seguenti impatti/benefici per l'indisponibilità di dati necessari alla loro quantificazione:

- recupero di rottami ferrosi, pari a 5,9 kg/tonnellata di rifiuto incenerito (0,6% del rifiuto in ingresso);
- consumo di materie prime: pur disponendo dei consumi specifici di reagenti, non si dispone di dati di letteratura per valutarne l'impatto ambientale (emissione dei principali inquinanti e consumi idrici ed energetici coinvolti nei processi di produzione dei reagenti);
- impatto sulle acque: si è considerato il solo consumo idrico (2,30 m³/t), tralasciando gli scarichi in fognatura, il cui impatto, date anche le quantità in gioco (0,32 m³/t, pari al 14% del quantitativo prelevato), può ragionevolmente ritenersi trascurabile.

Per le emissioni in atmosfera da incenerimento sono stati considerati i dati registrati dallo SME (Sistema Monitoraggio Emissioni) dell'impianto TRM di Torino nel corso del 2019 e, ove non

disponibili, quelli derivanti dalle rilevazioni puntuali effettuate dal Gestore nell'ambito del Piano di Monitoraggio e Controllo previsto dall'AIA.

Per quanto riguarda la CO₂ è stato considerato il quantitativo medio emesso dall'inceneritore di Torino nel periodo 2017-2020 (1.040 kg/t di rifiuto trattato); di questo è stata considerata, in via cautelativa, di origine fossile una quota pari al 50% (in accordo con quanto previsto dal "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration", 2019 che valuta in un range del 33% - 50% la quota di CO₂ fossile emessa dagli inceneritori di rifiuti urbani).

Per tutti gli scenari che prevedono incenerimento sono state calcolate le emissioni evitate di CO, CO₂, NO_x, SO₂, VOC, NH₃ e PM₁₀ dovute alla produzione di energia elettrica e di energia termica utilizzata nel teleriscaldamento il quale ha come effetto positivo lo spegnimento di un certo numero di caldaie domestiche. Per i fattori emissivi si è fatto riferimento ai dati contenuti nelle pubblicazioni di Enea 2017 [1] e Ispra 2020 [2].

Per gli scenari A2, A3 e B1 e B2 che prevedono la realizzazione di un nuovo impianto di incenerimento, è stata inoltre condotta un'analisi di sensitività (sottoscenari A2-B, A3-B, B1-B e B2-B) al fine di valutare l'impatto ambientale incrementale nel caso in cui il nuovo impianto produca solo energia elettrica (mancata realizzazione della rete di teleriscaldamento).

Nella Tabella che segue si riportano i fattori di emissione nel caso di contestuale recupero di energia elettrica e termica e nel caso di solo recupero di energia elettrica (utilizzati per i sottoscenari A2-B, A3-B, B1-B e B2-B).

Tab. 13 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per l'impianto di incenerimento con e senza recupero di energia termica

Matrice ambientale	Parametro	UM	Recupero di energia elettrica e termica	Recupero di sola energia elettrica (no teleriscaldamento)	Fonte
Atmosfera	Cd	Kg/t	9,20E-07	9,20E-07	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
	CO	Kg/t	-5,22E-02	-1,80E-02	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	CO ₂	Kg/t	1,91E+02	2,56E+02	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	HCl	Kg/t	1,33E-02	1,33E-02	Dati SME 2019 [16]
	HF	Kg/t	3,26E-04	3,26E-04	Dati SME 2019 [16]
	Hg	Kg/t	5,70E-05	5,70E-05	Dati SME 2019 [16]
	IPA	Kg/t	5,40E-07	5,40E-07	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
	N ₂ O	Kg/t	1,44E-02	1,44E-02	Rapporto Ambientale 2016 [14]
	NH ₃	Kg/t	6,27E-03	6,27E-03	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	NO _x	Kg/t	8,88E-02	1,23E-01	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	PCB DL	Kg/t	2,00E-12	2,00E-12	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
	PCDD	Kg/t	7,00E-12	7,00E-12	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
	polveri totali	Kg/t	4,68E-04	6,95E-04	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	Sb As altri	Kg/t	5,20E-04	5,20E-04	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
	SOT	Kg/t	-5,07E-02	-4,50E-02	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	SO _x	Kg/t	-2,9E-02	-2,9E-02	Elaborazioni ATOR ([1], [2], [3])
	Zn	Kg/t	6,76E-04	6,76E-04	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]
Acque	Consumo di acqua	m ³ /t	2,28E+00	2,28E+00	Dichiarazione Ambientale 2019 TRM [3]

Il recupero delle scorie

Le scorie da incenerimento (bottom ashes) derivanti dal termovalorizzatore di Torino vengono inviate integralmente a recupero. È noto come tali tipi di impianti generino un beneficio netto dal punto di vista delle emissioni di CO₂ (valore negativo) per effetto del recupero di materiale inerte e materiale ferroso [7], [8].

In Tab. 14 si riportano i Fattori Specifici di Emissione relativi all'anidride carbonica e al consumo idrico.

Tab. 14 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per l'impianto di trattamento scorie da incenerimento ([7] e [8])

Matrice ambientale	Parametro	Processo	UM	Valore	Fonte
Atmosfera	CO ₂	Trattamento scorie	kg/t	-1,86E+02	Grosso, 2010 [7]
Acque	Consumo di acqua	Trattamento scorie	m ³ /t	3,20E-01	Dato LEAP 2017[8]

Lo smaltimento delle ceneri leggere

Si è ipotizzato che le ceneri leggere (rifiuti pericolosi) vengano smaltite totalmente in discarica, sebbene nella realtà possano essere recuperate.

In linea con le assunzioni del Rapporto Ambientale 2016, per tale discarica è stato trascurato l'impatto in atmosfera mentre l'impatto sulle acque derivante dal trattamento dei percolati è stato quantificato attraverso i Fattori Specifici di Emissione calcolati da Arpa Piemonte.

Tab. 15 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per la discarica di rifiuti pericolosi (Fonte: Arpa Piemonte).

Matrice ambientale	Parametro	UM	Valore	Fonte
Acque	Cd	kg/t	1,10E-02	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]
	Cr	kg/t	2,75E-02	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]
	Cu	kg/t	1,93E-02	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]
	Ni	kg/t	6,60E-03	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]
	Pb	kg/t	2,97E-02	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]
	Zn	kg/t	4,23E-01	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 39 [14]

Il recupero del PSR

Si è ipotizzato che i PSR vengano recuperati in toto dal momento che il processo NEUTREC effettuato presso l'impianto Solval di Livorno, al quale vengono conferite, produce flussi di scarto minimi (10%) e ha impatto nullo sulle risorse idriche; in sostanza sono stati trascurati gli effetti ambientali (positivi e negativi) legati al recupero del PSR [11].

3.2.2.4 Fabbrica dei materiali

Per i bilanci di massa della fabbrica dei materiali si è fatto riferimento allo Studio di fattibilità per la Provincia di Novara redatto dalla Scuola agraria del Parco di Monza [10].

Le principali sezioni costitutive dell'impianto sono le seguenti:

- ricezione e pretrattamento;
- selezione primaria (vagliatura);
- selezione secondaria in più step (separazione manuale, ottica, magnetica e densimetrica) finalizzata al recupero di materia (carta, plastica, metalli, altro).

Per la modellizzazione della Fabbrica dei materiali, ai fini dell'Analisi LCA, sono stati utilizzati i Fattori Specifici di Emissione determinati da Arpa per la Biostabilizzazione (Tab. 16).

Come si è detto, sono stati trascurati in prima battuta gli effetti ambientali legati al possibile recupero come materia delle frazioni separate (carta/cartone, plastica, metalli) ma è stato condotto uno specifico approfondimento al cap. 5.

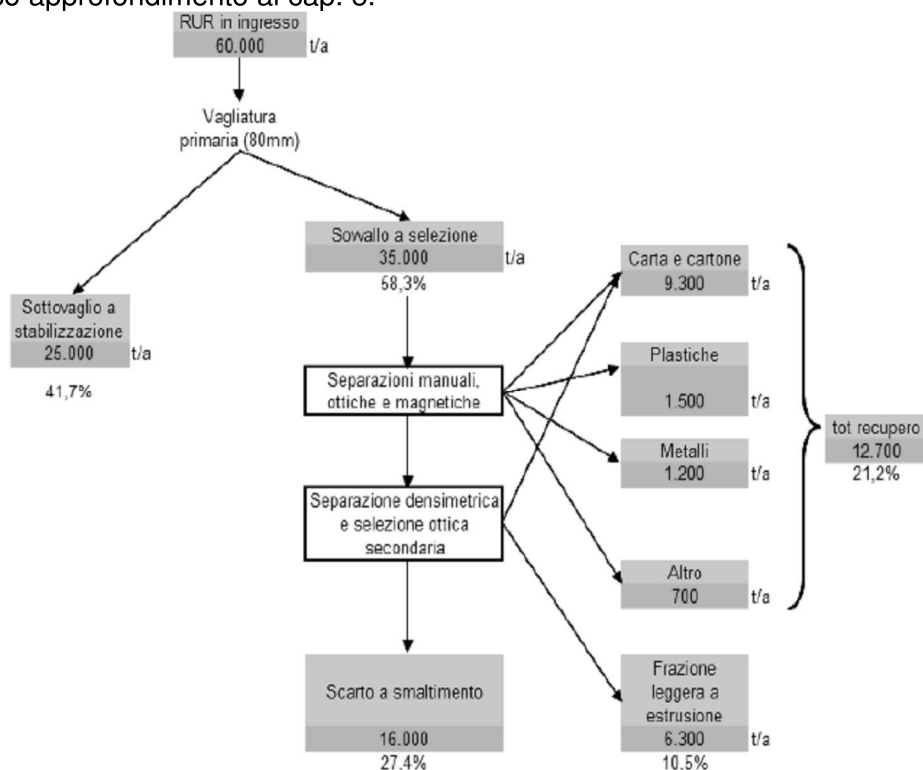


Fig. 4 – Possibile bilancio di massa di un impianto di recupero di materiali dai rifiuti urbani (Fabbrica di materiali, [10])

Tab. 16 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati per la fabbrica di materiali.

Matrice ambientale	Parametro	UM	Valore	Fonte
Atmosfera	CH ₄	Kg/t	5,50E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	CO ₂	Kg/t	0,00E+00	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	H ₂ S	Kg/t	1,30E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	N ₂ O	Kg/t	2,00E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	NH ₃	Kg/t	4,86E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	polveri totali	Kg/t	4,86E-02	ARPA Piemonte, 2019 [12]
	SOT	Kg/t	5,50E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]
Acque	As	kg/t	2,96E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Cd	Kg/t	5,00E-07	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Cu	kg/t	2,75E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Fosforo totale	kg/t	7,90E-05	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	N totale	kg/t	5,45E-03	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	NH ₃	kg/t	2,96E-03	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Ni	kg/t	5,40E-06	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Zn	kg/t	3,48E-05	Rapporto Ambientale 2016 Tabella 34 [14]
	Consumo di acqua	m ³ /t	2,53E-01	ARPA Piemonte, 2019 [12]

3.2.2.5 Il trasporto

I rifiuti presi in considerazione per il trasporto sono i rifiuti indifferenziati, gli scarti derivanti dal trattamento dei rifiuti raccolti differenziatamente, il CSS, le scorie avviate a recupero.

Nel calcolo non sono stati considerati gli effetti dei trasporti per la raccolta rifiuti né gli impatti derivanti dai trasporti per il conferimento dei rifiuti agli impianti siti nell'ambito del medesimo "quadrante" intendendo come tale ciascuna delle 4 aree geografiche così individuate:

- Quadrante 1: comprende i territori delle province di Biella, Novara, Vercelli e Verbano-Cusio-Ossola;
- Quadrante 2: comprende i territori delle province di Asti e Alessandria;
- Quadrante 3: territorio della provincia di Cuneo;
- Quadrante 4: territorio della provincia di Torino.

Il calcolo viene quindi effettuato solo per trasporti fuori quadrante, la cui destinazione risulti essere la valorizzazione energetica dei rifiuti (termovalorizzazione e/o coincenerimento) ed il recupero delle scorie.

Per quantificare la produzione di inquinanti relativa al trasporto dei rifiuti (RUR e scarti RD) tra quadranti diversi è stata assunta una distanza di percorrenza di 100 km (200 km per il tragitto andata e ritorno).

Nel caso di coincenerimento di CSS in cementifici fuori regione (Scenario C) è stata assunta una distanza pari a 300 km (600 km per il tragitto andata e ritorno), distanza media degli impianti ubicati nel nord Italia.

Per il trasporto delle scorie ad impianti di recupero è stata assunta una distanza pari a 200 km (400 km per il tragitto andata e ritorno) essendo gli impianti ubicati in Lombardia; è stato trascurato invece il trasporto di ceneri e PSR.

Per il calcolo dei fattori emissivi si è fatto riferimento alla banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia [5]; è stato ipotizzato l'uso delle seguenti tipologie di mezzi pesanti Diesel Euro 4:

- HeavyDutyTrucks14-20 t con un carico di 16 tonnellate per viaggio per i RUR, gli scarti da RD e il CSS;
- HeavyDutyTrucks20-26t con un carico di 20 tonnellate per viaggio per le scorie da incenerimento.

Tab. 17 – Fattori Specifici di Emissione calcolati per il trasporto del RUR e degli scarti RD a incenerimento, del CSS a cementifici fuori regione e delle scorie ad impianti di recupero.

Parametro	RUR (200 km) e CSS fuori regione (600 km) (HeavyDutyTrucks14-20tEuro4; 16 tonnellate/viaggio)			Scorie (400 km) (HeavyDutyTrucks20-26tEuro4; 20 tonnellate/viaggio)	
	coefficiente emissivo trasporto (g/km)	Fattore Specifico di Emissione RUR e scarti RD (kg/t)	Fattore Specifico di Emissione CSS (kg/t)	coefficiente emissivo trasporto (g/km)	Fattore Specifico di Emissione scorie (kg/t)
CO	0,61	7,68E-03	2,30E-02	0,74	1,48E-02
VOC	0,03	4,17E-04	1,25E-03	0,04	8,31E-04
NOx	3,44	4,30E-02	1,29E-01	4,30	8,61E-02
PM ₁₀	0,11	1,32E-03	3,97E-03	0,12	2,39E-03
CO ₂	552,49	6,91E+00	2,07E+01	672,57	1,35E+01

3.3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELL'IMPRONTA AMBIENTALE (LCIA)

Al fine di determinare l'impatto ambientale di ciascuno scenario, si è proceduto alla quantificazione degli output immessi nell'ambiente; i Fattori Specifici di Emissione per ciascun impianto/processo compreso il trasporto, come definiti da ARPA e aggiornati da ATO-R, sono stati moltiplicati per i relativi quantitativi di rifiuti (Tab. 18), determinati sulla base delle ipotesi descritte al par. 3.2.1 e dei coefficienti riportati in Tab. 7.

Tab. 18 – Flussi di rifiuti utilizzati nella valutazione del contributo di ciascun processo all'impatto dei diversi scenari di Piano.

Processo/Impianto	SCENARIO											
	A1	A2	A2-B	A3	A3-B	B1	B1-B	B2	B2-B	B3	C	D
Coincenerimento	0	0	0	0	0	33.368	33.368	33.368	33.368	33.368	70.168	33.368
Discarica	40.128	40.128	40.128	40.128	40.128	57.164	57.164	57.164	57.164	57.164	84.108	115.964
Fabbrica materiali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140.000
Produzione CSS	0	0	0	0	0	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	136.000	56.000
Trasporto CSS a coincenerimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.800	0
Trasporto RU incenerimento	340.193	201.339	201.339	236.052	236.052	134.371	134.371	169.085	169.085	273.226	185.482	185.026
Trattamento/Discarica ceneri	13.885	13.885	13.885	13.885	13.885	12.546	12.546	12.546	12.546	12.546	10.791	10.782
Trattamento scorie	146.491	146.491	146.491	146.491	146.491	132.361	132.361	132.361	132.361	132.361	113.847	113.751
Incenerimento con TLR	694.272	694.272	354.079	694.272	354.079	627.304	488.450	627.304	523.163	627.304	539.560	539.104
Incenerimento senza TLR			340.193		340.193		138.854		104.141			
Trasporto scorie a trattamento	146.491	146.491	146.491	146.491	146.491	132.361	132.361	132.361	132.361	132.361	113.847	113.751

Il risultato è stato dunque moltiplicato per i corrispondenti fattori di caratterizzazione selezionati attraverso il Database Access dal pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0.

Tale operazione (caratterizzazione) consente di calcolare l'entità del contributo che ciascun elemento in ingresso/uscita rappresenta per le rispettive categorie d'impatto EF (Tab. 19) e l'aggregazione dei contributi all'interno di ogni categoria. I fattori di caratterizzazione sono specifici di ogni sostanza o risorsa e rappresentano l'intensità dell'impatto di una sostanza rispetto a una sostanza comune di riferimento per una categoria di impatto EF (indicatore di categoria di impatto). I risultati sono stati successivamente moltiplicati per i fattori di normalizzazione (desunti dal pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0, Tab. 20) al fine di calcolare e confrontare l'entità dei loro contributi alle categorie di impatto dell'EF rispetto a un'unità di riferimento. I risultati ottenuti sono adimensionali e normalizzati.

Si è dunque proceduto alla ponderazione: i risultati normalizzati sono stati moltiplicati per una serie di fattori di ponderazione (espressi in %) che riproducono l'importanza relativa percepita delle

categorie d'impatto del ciclo di vita considerate (anch'essi desunti dal pacchetto Environmental Footprint reference packages 3.0, Tab. 20).

Infine, i risultati di tutte le categorie d'impatto sono stati sommati con lo scopo di ottenere un punteggio complessivo unico e permettere la rapida comparazione tra gli scenari (Tab. 21).

Tab. 19 – Categorie di impatto definite nel Metodo EF 3.0

LCIAMethod_name	UM_LCIAMethod_name
Acidification	mol H+ eq
Climate change	kg CO2 eq
Climate change-Biogenic	kg CO2 eq
Climate change-Fossil	kg CO2 eq
Climate change-Land use and land use change	kg CO2 eq
Ecotoxicity, freshwater	CTUe
Ecotoxicity, freshwater_inorganics	CTUe
Ecotoxicity, freshwater_metals	CTUe
Ecotoxicity, freshwater_organics	CTUe
EF-particulate Matter	disease inc.
Eutrophication marine	kg N eq
Eutrophication, freshwater	kg P eq
Eutrophication, terrestrial	mol N eq
Human toxicity, cancer	CTUh
Human toxicity, cancer_inorganics	CTUh
Human toxicity, cancer_metals	CTUh
Human toxicity, cancer_organics	CTUh
Human toxicity, non-cancer	CTUh
Human toxicity, non-cancer_inorganics	CTUh
Human toxicity, non-cancer_metals	CTUh
Human toxicity, non-cancer_organics	CTUh
Ionising radiation, human health	kBq U-235 eq
Land use	Pt
Ozone depletion	kg CFC11 eq
Photochemical ozone formation - human health	kg NMVOC eq
Resource use, fossils	MJ
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq
Water use	m3 depriv.

Tab. 20 – Set di normalizzazione e pesatura del Metodo EF 3.0 (Tabella SetNormalizzazionePesatura nel Database)

CategoriaImpatto	Fattore di normalizzazione	Fattore di pesatura
Acidification	55,56	6,2%
Climate change	8.097,17	21,1%
Climate change-Biogenic	0,00	0,0%
Climate change-Fossil	0,00	0,0%
Climate change-Land use and land use change	0,00	0,0%
Ecotoxicity, freshwater	42.680,32	1,9%
Ecotoxicity, freshwater_inorganics	0,00	0,0%
Ecotoxicity, freshwater_metals	0,00	0,0%
Ecotoxicity, freshwater_organics	0,00	0,0%
EF-particulate Matter	0,00	9,0%
Eutrophication marine	19,55	3,0%
Eutrophication, freshwater	1,61	2,8%
Eutrophication, terrestrial	176,74	3,7%
Human toxicity, cancer	0,00	2,1%
Human toxicity, cancer_inorganics	0,00	0,0%
Human toxicity, cancer_metals	0,00	0,0%
Human toxicity, cancer_organics	0,00	0,0%
Human toxicity, non-cancer	0,00	1,8%
Human toxicity, non-cancer_inorganics	0,00	0,0%
Human toxicity, non-cancer_metals	0,00	0,0%
Human toxicity, non-cancer_organics	0,00	0,0%
Ionising radiation, human health	4.219,41	5,0%
Land use	819.672,13	7,9%
Ozone depletion	0,05	6,3%
Photochemical ozone formation - human health	40,60	4,8%
Resource use, fossils	65.019,51	8,3%
Resource use, minerals and metals	0,06	7,6%
Water use	11.469,21	8,5%

4 RISULTATI

Dall'analisi emerge che lo scenario vincente, sulla base delle assunzioni e delle semplificazioni di cui si è detto, risulta lo Scenario C (produzione di CSS e coincenerimento in cementificio per le province di Cuneo e per la zona nord, incenerimento per Torino, Asti e Alessandria). Va sottolineato che questo scenario presuppone il coincenerimento del CSS in impianti extra regionali della cui disponibilità non si è certi.

In seconda battuta risulta favorito lo scenario B (produzione e coincenerimento del CSS per la sola provincia di Cuneo e incenerimento per tutte le altre province) rispetto agli scenari A e D. Le due opzioni (ampliamento dell'inceneritore esistente - B3 e realizzazione di un nuovo inceneritore- B1 e B2) appaiono sostanzialmente equivalenti così come sembra non essere influente la localizzazione del secondo inceneritore (sottoscenari B1 e B2) anche nel caso in cui non si riuscisse a realizzare il teleriscaldamento per il nuovo impianto di incenerimento (sottoscenari B1-B e B2-B).

Le categorie di impatto che risultano maggiormente rappresentate nell'indicatore di impatto complessivo sono: il consumo di acqua, il cambiamento climatico, tossicità delle acque superficiali (Tab. 22).

Tab. 21 – Indicatore di Impatto Complessivo per i diversi scenari di Piano.

Nome Scenario	Descrizione sintetica dello scenario	Indicatore Impatto complessivo
Scenario A1	Incenerimento: potenziamento dell'inceneritore esistente	6,50E+11
Scenario A2:	Incenerimento: nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione	6,48E+11
Scenario A2-B	Incenerimento: nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Nord della Regione	7,06E+11
Scenario A3	Incenerimento: nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione	6,48E+11
Scenario A3-B	Incenerimento: nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Sud della Regione	7,06E+11
Scenario B1	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione	5,39E+11
Scenario B1-B	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Nord della Regione	5,63E+11
Scenario B2	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione	5,40E+11
Scenario B2-B	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Sud della Regione	5,57E+11
Scenario B3	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): potenziamento dell'inceneritore esistente	5,41E+11
Scenario C	Incremento, rispetto allo Scenario B, della quota di RUR inviata a produzione di CSS (34% a fronte del 14% dello Scenario B) e invio di parte del CSS a cementifici ubicati fuori regione	4,52E+11
Scenario D	Incenerimento, fabbrica dei materiali e produzione di CSS per cementifici	7,71E+11

Tab. 22 – Risultati normalizzati e pesati per categoria d'impatto

Categoria d'impatto	Scenario											
	A1	A2	A2-B	A3	A3-B	B1	B1-B	B2	B2-B	B3	C	D
Acidification	2,4E+04	2,2E+04	2,6E+04	2,3E+04	2,7E+04	1,5E+04	1,6E+04	1,5E+04	1,7E+04	1,7E+04	1,1E+04	2,1E+04
Climate change	3,5E+11	3,5E+11	4,1E+11	3,5E+11	4,1E+11	2,1E+11	2,4E+11	2,2E+11	2,3E+11	2,2E+11	8,3E+10	2,9E+11
Ecotoxicity, freshwater	1,9E+11	1,9E+11	1,9E+11	1,9E+11	1,9E+11	2,2E+11	2,2E+11	2,2E+11	2,2E+11	2,2E+11	2,8E+11	3,9E+11
EF-particulate Matter	1,7E-05	1,5E-05	1,5E-05	1,5E-05	1,6E-05	2,2E-05	2,2E-05	2,2E-05	2,2E-05	2,3E-05	3,4E-05	6,3E-05
Eutrophication marine	4,4E+04	4,2E+04	4,6E+04	4,3E+04	4,7E+04	4,1E+04	4,3E+04	4,2E+04	4,3E+04	4,3E+04	4,6E+04	5,9E+04
Eutrophication, freshwater	5,4E-02	5,4E-02	5,4E-02	5,4E-02	5,4E-02	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	5,2E+01	2,2E+01
Eutrophication, terrestrial	1,7E+06	1,6E+06	1,8E+06	1,7E+06	1,8E+06	1,5E+06	1,6E+06	1,5E+06	1,6E+06	1,6E+06	1,5E+06	2,0E+06
Human toxicity, cancer	5,3E-08	5,3E-08	5,3E-08	5,3E-08	5,3E-08	5,7E-08	5,7E-08	5,7E-08	5,7E-08	5,7E-08	5,9E-08	5,0E-08
Human toxicity, non-cancer	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,8E-05	5,6E-05	4,3E-05
Photochemical ozone formation - human health	2,6E+05	2,4E+05	2,8E+05	2,4E+05	2,8E+05	2,0E+05	2,2E+05	2,1E+05	2,2E+05	2,2E+05	2,0E+05	2,8E+05
Water use	1,1E+11	1,1E+11	1,1E+11	1,1E+11	1,1E+11	1,0E+11	1,0E+11	1,0E+11	1,0E+11	1,0E+11	9,3E+10	9,1E+10

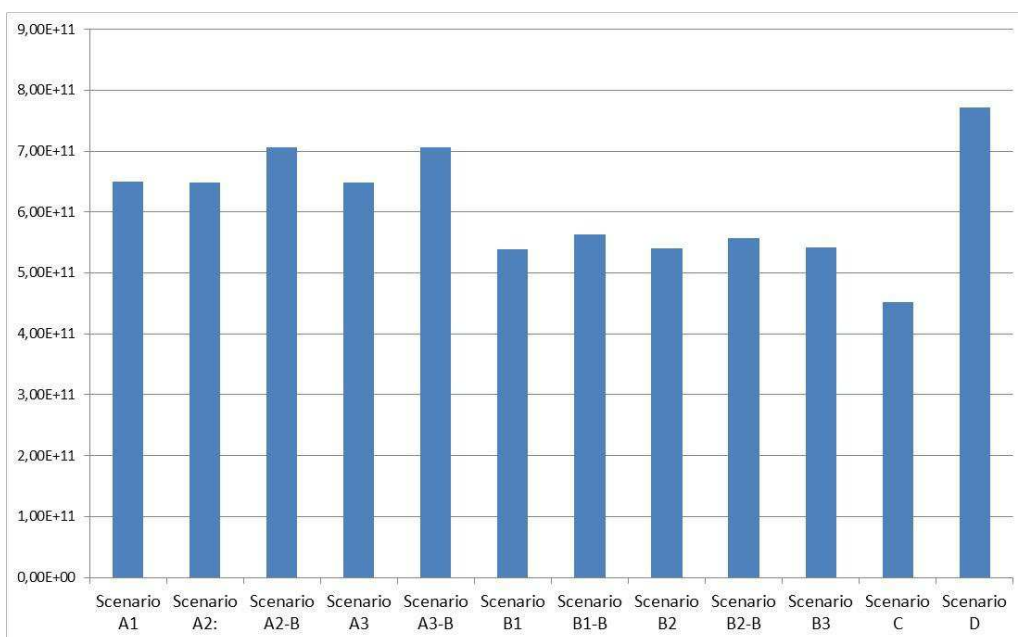


Fig. 5 – Risultati dell'analisi – confronto tra gli scenari attraverso un indicatore di impatto complessivo.

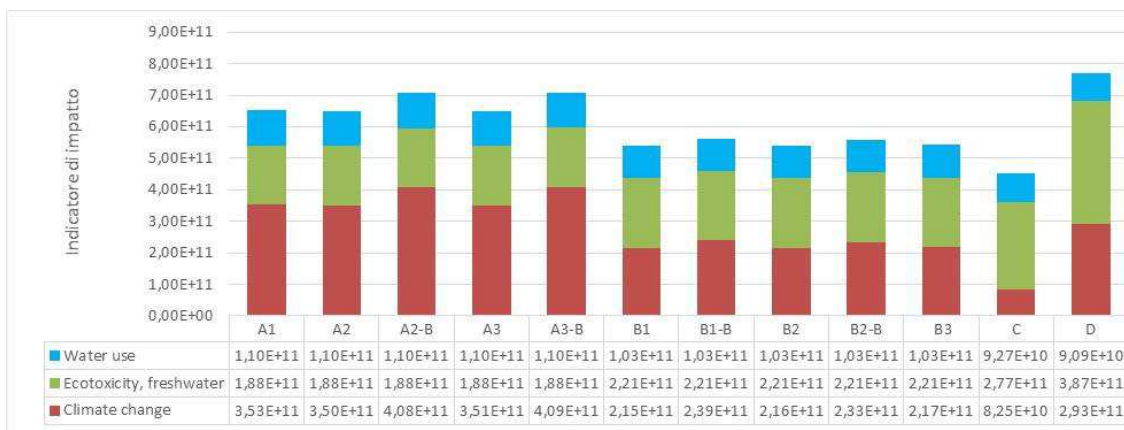


Fig. 6 – Risultati dell'analisi – contributo delle principali classi di impatto nell'indicatore complessivo.

5 APPROFONDIMENTO SUL POSSIBILE RECUPERO DI MATERIA DALLA FABBRICA DEI MATERIALI

Su richiesta della Regione Piemonte, sono stati valutati gli effetti ambientali del riciclaggio di carta, plastica e metalli rispetto alla produzione dei medesimi a partire dalla materia vergine, nell'ipotesi che i materiali separati nella fabbrica dei materiali abbiano caratteristiche qualitative tali da poter essere impiegati in un processo di recupero di materia. Le perplessità, riguardo a tale possibilità, sono relative in particolare alla carta, la quale rappresenta la frazione prevalente nel RUR.

Nell'analisi sono stati utilizzati gli indicatori di impatto ambientale tratti da Grosso, Giugliano 2008 [19] e riportati nella Tab. 23. È stato considerato esclusivamente l'impatto relativo al riscaldamento globale in quanto gli altri indicatori hanno unità di misura non coerenti con quelle del metodo EF 3.0 utilizzato nel presente studio.

Va inoltre rilevato che i valori riportati dalla fonte citata [19] si riferiscono al recupero di materia da frazioni raccolte separatamente e non da frazioni selezionate a valle dal flusso di rifiuto urbano residuo. Pertanto, il beneficio ambientale (stimato per la carta in una mancata emissione di 557 kg di CO₂ equivalenti per tonnellata raccolta) potrebbe risultare differente rispetto a quello che si avrebbe immettendo nel processo di riciclo la carta ottenuta da separazione meccanica, come nel caso in oggetto.

Per la determinazione dei flussi avviati a recupero nello scenario D (Fabbrica dei materiali), si è fatto riferimento allo schema di Fig. 4 dal quale sono state ricavate le percentuali riportate nella tabella che segue.

Frazione recuperata	% sul totale
Carta	73,2%
Metalli	11,8%
Plastica	9,4%
Altro	5,5%

Si è assunto che del totale dei metalli il 35,9% sia rappresentato da alluminio e il 64,1% da metalli ferrosi, sulla base dell'analisi merceologica del rifiuto indifferenziato dell'anno 2019 fornita dalla Regione Piemonte.

Tab. 23 – Indicatori di impatto ambientale delle filiere del recupero di materia (espressi per tonnellata raccolta di ciascuna frazione merceologica [19])

	Acciaio	Alluminio	Vetro	Carta	Legno	Plastica	Compost
Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq)	-405	-9.855	-722	-557	-166	-1.120	-26,8
Acidificazione (kg SO ₂ eq).	-0,060	-52	-2,900	-3,3	-1,200	-7,1	+0,070
Tossicità umana (kg 1,4 DCB eq)	-247	-47.001	-141	-126	-93	-248	+5,6
Formazione fotochimica di ozono (kg C ₂ H ₄ eq)	-0,587	-2,9	-0,185	-0,237	-0,317	-1,2	+0,025

Nota. In grassetto per ciascun indicatore il valore migliore; in corsivo i valori positivi ossia quelli che indicano uno svantaggio ambientale.

I fattori specifici di emissione, relativi al solo riscaldamento globale, considerati nella valutazione sono riportati nella Tabella che segue.

Tab. 24 – Fattori Specifici di Emissione utilizzati nell'analisi LCA per la valutazione degli effetti del recupero dei materiali.

Parametro	Processo	UM	Valore	Fonte
CO ₂	Recupero ferrosi (acciaio)	kg/t	-4,05E+02	Rigamonti, Grosso Giugliano Rifiuti Solidi n.3 2010
CO ₂	Recupero alluminio	kg/t	-9,85E+03	Rigamonti, Grosso Giugliano Rifiuti Solidi n.3 2010
CO ₂	Recupero carta	kg/t	-5,57E+02	Rigamonti, Grosso Giugliano Rifiuti Solidi n.3 2010
CO ₂	Recupero plastica	kg/t	-1,12E+03	Rigamonti, Grosso Giugliano Rifiuti Solidi n.3 2010

Con le assunzioni di cui sopra, l'applicazione del modello LCA ha fornito i risultati riportati nella Tabella e nel grafico che seguono. Rispetto al caso base di cui al capitolo precedente, l'unico valore che cambia è, ovviamente, quello dello scenario D che passa da 7,71E+11 a 6,96E+11.

Tab. 25 – Indicatore di Impatto Complessivo per i diversi scenari di Piano- Scenario D con riciclaggio delle frazioni separate

Nome Scenario	Descrizione sintetica dello scenario	Indicatore Impatto complessivo
Scenario A1	Incenerimento: potenziamento dell'inceneritore esistente	6,50E+11
Scenario A2:	Incenerimento: nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione	6,48E+11
Scenario A2-B	Incenerimento: nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Nord della Regione	7,06E+11
Scenario A3	Incenerimento: nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione	6,48E+11
Scenario A3-B	Incenerimento: nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Sud della Regione	7,06E+11
Scenario B1	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Nord della Regione	5,39E+11
Scenario B1-B	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Nord della Regione	5,63E+11
Scenario B2	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con recupero di energia elettrica e termica da realizzarsi nella zona Sud della Regione	5,40E+11
Scenario B2-B	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): nuovo inceneritore con solo recupero di energia elettrica (senza teleriscaldamento) da realizzarsi nella zona Sud della Regione	5,57E+11
Scenario B3	Invio del RUR tal quale a incenerimento per tutte le province tranne Cuneo (produzione di CSS e coincenerimento in cementifici regionali): potenziamento dell'inceneritore esistente	5,41E+11
Scenario C	Incremento, rispetto allo Scenario B, della quota di RUR inviata a produzione di CSS (34% a fronte del 14% dello Scenario B) e invio di parte del CSS a cementifici ubicati fuori regione	4,52E+11
Scenario D	Incenerimento, fabbrica dei materiali e produzione di CSS per cementifici- riciclaggio delle frazioni separate	6,96E+11

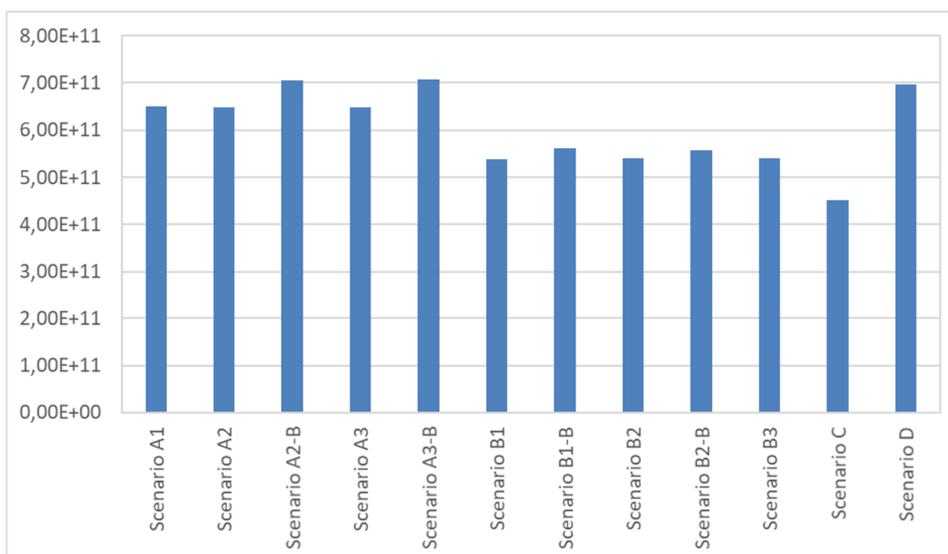


Fig. 7 – Risultati dell'analisi – confronto tra gli scenari attraverso un indicatore di impatto complessivo.

6 ANALISI DI SENSITIVITA' PER DIVERSE PERCENTUALI DI SCARTO RD

Su richiesta della Regione Piemonte, è stato effettuato un supplemento di analisi formulando ulteriori quattro differenti ipotesi sui quantitativi di scarto dei rifiuti raccolti in maniera differenziata, rispetto al valore del 20,9% (Tab. 7) assunto nell'Analisi LCA di base, e lasciando invariate tutte le altre assunzioni su cui si fonda il presente Studio.

Mantenendo costante il destino dei suddetti scarti (88% a incenerimento, 12% a discarica) e immaginando un miglioramento della qualità della raccolta differenziata, si giungerebbe ad una riduzione della percentuale di scarto che non essendo determinabile a priori si è ipotizzata nella misura di seguito illustrata:

- Ipotesi 1: produzione di scarti da RD pari al 10%;
- Ipotesi 2: produzione di scarti da RD pari al 15%;
- Ipotesi 3: produzione di scarti da RD pari al 18,5%;
- Ipotesi 4: produzione di scarti da RD pari al 19%.

Per ciascuna delle quattro ipotesi, sono stati determinati i quantitativi di rifiuti da smaltire, la relativa occupazione di discarica e il recupero complessivo di materia (calcolato rispetto alla produzione totale di rifiuti e tenendo conto anche del recupero delle scorie da incenerimento) che sono riportati nelle Tabelle che seguono.

Tab. 26 – Ipotesi sulla variabilità degli scarti della raccolta differenziata

Processo/Impianto	Impianto di riferimento	parametro	numeratore	denominatore	Analisi LCA base	Ipotesi 1	Ipotesi 2	Ipotesi 3	Ipotesi 4
Selezione RD	Impianti selezione RD regionali	produzione di scarti da RD	scarti selezione	rifiuti in ingresso	20,9%	10%	15%	18,5%	19%
		scarti selezione RD a incenerimento	scarti selezione a incenerimento	scarti selezione	88,0%	88,0%	88,0%	88,0%	88,0%
		scarti selezione RD a discarica	scarti selezione a discarica	scarti selezione	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%	12,0%

Tab. 27 – Quantitativi di rifiuti nell'ipotesi 1 (scarti RD al 10%)

Scenari	Produzione totale rifiuti	RUR	scarti RD	Rifiuti da smaltire	Uso della discarica		Recupero di materia	
					Fabbisogno (t)	% su produzione totale rifiuti	t	% su produzione totale rifiuti
Scenario A	2.000.000	400.000	160.000	560.000	19.200	1,0%	1.562.782	78,1%
Scenario B	2.000.000	400.000	160.000	560.000	36.236	1,8%	1.547.577	77,4%
Scenario C	2.000.000	400.000	160.000	560.000	63.180	3,2%	1.527.656	76,4%
Scenario D	2.000.000	400.000	160.000	560.000	95.036	4,8%	1.556.953	77,8%

Tab. 28 – Quantitativi di rifiuti nell'ipotesi 2 (scarti RD al 15%)

Scenari	Produzione totale rifiuti	RUR	scarti RD	Rifiuti da smaltire	Uso della discarica		Recupero di materia	
					Fabbisogno (t)	% su produzione totale rifiuti	t	% su produzione totale rifiuti
Scenario A	2.000.000	400.000	240.000	640.000	28.800	1,4%	1.498.765	74,9%
Scenario B	2.000.000	400.000	240.000	640.000	45.836	2,3%	1.483.561	74,2%
Scenario C	2.000.000	400.000	240.000	640.000	72.780	3,6%	1.463.640	73,2%
Scenario D	2.000.000	400.000	240.000	640.000	104.636	5,2%	1.492.936	74,6%

Tab. 29 – Quantitativi di rifiuti nell'ipotesi 3 (scarti RD al 18,5%)

Scenari	Produzione totale rifiuti	RUR	scarti RD	Rifiuti da smaltire	Uso della discarica		Recupero di materia	
					Fabbisogno (t)	% su produzione totale rifiuti	t	% su produzione totale rifiuti
Scenario A	2.000.000	400.000	296.000	696.000	35.520	1,8%	1.453.953	72,7%
Scenario B	2.000.000	400.000	296.000	696.000	52.556	2,6%	1.438.749	71,9%
Scenario C	2.000.000	400.000	296.000	696.000	79.500	4,0%	1.418.828	70,9%
Scenario D	2.000.000	400.000	296.000	696.000	111.356	5,6%	1.448.125	72,4%

Tab. 30 – Quantitativi di rifiuti nell'ipotesi 4 (scarti RD al 19%)

Scenari	Produzione totale rifiuti	RUR	scarti RD	Rifiuti da smaltire	Uso della discarica		Recupero di materia	
					Fabbisogno (t)	% su produzione totale rifiuti	t	% su produzione totale rifiuti
Scenario A	2.000.000	400.000	304.000	704.000	36.480	1,8%	1.447.552	72,4%
Scenario B	2.000.000	400.000	304.000	704.000	53.516	2,7%	1.432.348	71,6%
Scenario C	2.000.000	400.000	304.000	704.000	80.460	4,0%	1.412.426	70,6%
Scenario D	2.000.000	400.000	304.000	704.000	112.316	5,6%	1.441.723	72,1%

L'analisi LCA dei vari scenari nelle diverse ipotesi di scarto della raccolta differenziata fornisce, com'era intuitivo, risultati sovrapponibili (Tab. 31, Fig. 8) all'ipotesi di base (scarto pari al 20,9%): lo Scenario C (produzione di CSS e coincenerimento in cementificio per le province di Cuneo e per la zona nord, incenerimento per Torino, Asti e Alessandria) risulta favorito rispetto allo scenario B (produzione e coincenerimento del CSS per la sola provincia di Cuneo e incenerimento per tutte le altre province) in tutti i suoi sottoscenari e rispetto agli scenari A e D.

L'indicatore di Impatto Complessivo per tutti gli Scenari assume ovviamente valore inferiore nell'ipotesi di scarti della raccolta differenziata pari al 10% della stessa, dal momento che risultano inferiori i quantitativi di rifiuti complessivi (RUR+scarti di trattamento del RUR+scarti raccolta differenziata) da trattare e di conseguenza gli impatti ambientali ad essi correlati.

Tab. 31 – Indicatore Complessivo di Impatto per gli Scenari di Piano nelle varie ipotesi di scarto della raccolta differenziata

	Scarto RD 10%	Scarto RD 15%	Scarto RD 18,5%	Scarto RD 19%	Scarto RD 20,9%
Scenario A1	4,61E+11	5,48E+11	6,09E+11	6,17E+11	6,50E+11
Scenario A2	4,59E+11	5,46E+11	6,06E+11	6,15E+11	6,48E+11
Scenario A2-B	5,04E+11	5,97E+11	6,61E+11	6,71E+11	7,06E+11
Scenario A3	4,60E+11	5,46E+11	6,07E+11	6,16E+11	6,48E+11
Scenario A3-B	5,05E+11	5,97E+11	6,62E+11	6,71E+11	7,06E+11
Scenario B1	3,50E+11	4,37E+11	4,97E+11	5,06E+11	5,39E+11
Scenario B1-B	3,68E+11	4,57E+11	5,20E+11	5,29E+11	5,63E+11
Scenario B2	3,51E+11	4,37E+11	4,98E+11	5,07E+11	5,40E+11
Scenario B2-B	3,64E+11	4,53E+11	5,15E+11	5,24E+11	5,57E+11
Scenario B3	3,52E+11	4,39E+11	5,00E+11	5,08E+11	5,41E+11
Scenario C	2,63E+11	3,50E+11	4,11E+11	4,19E+11	4,52E+11
Scenario D	5,81E+11	6,68E+11	7,29E+11	7,38E+11	7,71E+11

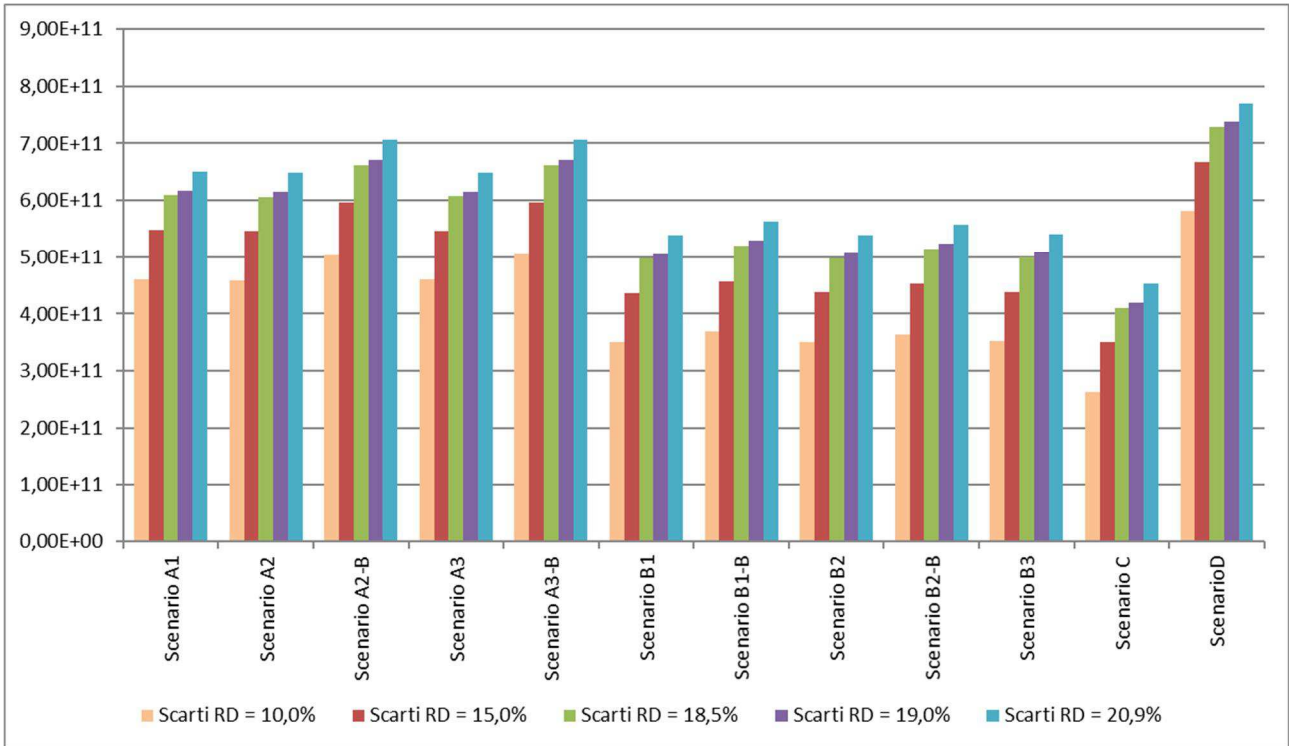


Fig. 8 – Confronto tra gli scenari per le diverse ipotesi di scarto della raccolta differenziata

7 IL DATABASE PER LA COMPARAZIONE DI SCENARI DI PIANIFICAZIONE

ATOR ha elaborato un modello che consente di effettuare la valutazione comparata degli scenari di trattamento/smaltimento dei rifiuti proposti nel Piano attraverso un Database Access LCA_ComparazioneScenari caratterizzato da una struttura semplice e flessibile.

Proprio per via dell'estrema semplicità dello strumento (poche tabelle legate da relazioni essenziali), si è scelto di non elaborare un'interfaccia grafica.

7.1 LE TABELLE

Le principali tabelle che compongono il database sono:

- **CategoriImpatto** (Tab. 19): contiene le 28 categorie di impatto definite nel Metodo EF 3.0 e le relative unità di misura;
- **FattoriCaratterizzazioneEF3** (Tab. 32): contiene i Fattori di Caratterizzazione dell'impatto dei flussi elementari come definiti nel Metodo EF 3.0 (318.602 record) e riportati nel file xls disponibile al link: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>; la tabella ha lo stesso formato di quella contenuta nel foglio "Iciamethods_CF" del file xls EF-LCIAMethod_CF(EF-v3.0) (5).xlsx.
- **FattoriCaratterizzazioneEF3Sh** (Tab. 32): contiene una selezione dei Fattori di Caratterizzazione (138.882 record), ossia i Fattori di Caratterizzazione delle Categorie di Impatto (riportati in) che hanno fattore di normalizzazione diverso da zero;
- **Processi**: riporta il nome dei processi modellizzati nell'analisi LCA (Coincenerimento, Discarica, Discarica pericolosi, Fabbrica materiali, Incenerimento, Produzione CSS, Trasporto CSS a coincenerimento, Trasporto RU incenerimento, Trasporto scorie a trattamento, Trattamento PSR, Trattamento scorie, Trattamento/discarica ceneri, Trattamento scorie);
- **FES_FlowName**: riporta la corrispondenza tra il nome del parametro in italiano e quello utilizzato nella Tabella in excel dei Fattori di Caratterizzazione del Metodo EF 3.0 e nelle corrispondenti tabelle access (**FattoriCaratterizzazioneEF3** e **FattoriCaratterizzazioneEF3Sh**);
- **SetNormalizzazionePesatura**: contiene i Fattori di Normalizzazione e i Fattori di Pesatura definiti nel Metodo EF 3.0 (Tab. 20);
- **FlussiScenari**: riporta, per ciascuno scenario, i flussi di rifiuti di input ad ogni processo (in tonnellate);
- **FattoriEmissiviSpecificiProcessi**: riporta i Fattori di Emissione Specifici individuati e stimati per ciascun processo (sezione impiantistica, trasporto), espressi per tonnellata di rifiuto in input e la matrice ambientale di riferimento (campo **FLOW_class1**, corrispondente all'omonimo campo della tabella contenente i fattori di caratterizzazione nelle due forme, originale e semplificata). Per aggiungere un nuovo parametro (es. un contaminante), è necessario che questo venga prima inserito nella tabella **FES_FlowName** e che venga individuata la corrispondenza con il medesimo parametro nella tabella dei fattori di caratterizzazione (**FattoriCaratterizzazioneEF3Sh**).
- **TblSelezioneFattoriCaratterizzazioneEF3**: contiene i Fattori di Caratterizzazione del Metodo EF 3.0 selezionati per ciascun parametro (contaminante, consumo idrico, etc) definito per ogni impianto/processo e la relativa matrice ambientale (aria, acque superficiali, consumo risorse idriche);
- **TblWorkSelezioneFattoriCaratterizzazioneEF3**: Tabella di lavoro intermedia che, per un dato parametro, contiene una selezione dei fattori di caratterizzazione tra cui scegliere manualmente (attraverso flag) il fattore di caratterizzazione che si ritiene più corretto.

Si riportano di seguito le caratteristiche delle principali tabelle con indicazione della chiave primaria, ossia del campo o del set di campi che garantisce l'individuazione inequivocabile di un determinato record all'interno della tabella stessa.

Tab. 32 – Descrizione dei campi che compongono le tabelle FattoriImpattoEF3 e FattoriImpattoEF3Semplificata.

campo	descrizione
FLOW_name	Nome del parametro
LCIAMethod_name	Nome della Categoria d'Impatto
LCIAMethod_meanvalue	Valore del parametro
FLOW_class0	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions
	Land Use
	Resources
FLOW_class1	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions to air
	Emissions to soil
	Emissions to water
	Land occupation
	Land transformation
	Resources from air
	Resources from ground
	Resources from water
FLOW_class2	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions to agricultural soil
	Emissions to air, indoor
	Emissions to air, unspecified
	Emissions to air, unspecified (long-term)
	Emissions to fresh water
	Emissions to lower stratosphere and upper troposphere
	Emissions to non-agricultural soil
	Emissions to non-urban air close to ground
	Emissions to non-urban air high stack
	Emissions to non-urban air low stack
	Emissions to non-urban air or from high stacks
	Emissions to non-urban air very high stack
	Emissions to sea water
	Emissions to soil, unspecified
	Emissions to urban air close to ground
	Emissions to urban air high stack
	Emissions to urban air low stack
	Emissions to urban air very high stack
	Emissions to water, unspecified
	Emissions to water, unspecified (long-term)
	Non-renewable element resources from ground
	Non-renewable energy resources from ground
Renewable material resources from air	
Renewable material resources from water	
LCIAMethod_location	Classe a cui appartiene il parametro:
	Non definita
	Definita (es. IT, Italia)
LCIAMethod_derivation	L'origine del Metodo può essere classificato con:
	IN
	CALCULATED
	ESTIMATED UNKNOWN_DERIVATION
LCIAMethod_direction	INPUT o OUTPUT

Tab. 33 – Corrispondenza tra il nome del parametro in italiano e quello utilizzato nella tabella EF3 dei fattori di caratterizzazione (Tabella FES FlowName)

Parametro	FlowName	um
Acido cianidrico-HCN	cyanide	kg/t
Antracene	anthracene	kg/t
As	arsenic	kg/t
Benzene	benzene	kg/t
Cd	cadmium	kg/t
CH4	methane (fossil)	kg/t
CO	carbon monoxide (fossil)	kg/t
CO2	carbon dioxide (fossil)	kg/t
Consumo di acqua	water	m3/t
Cr	chromium	kg/t
Cu	copper	kg/t
fenoli	phenol	kg/t
Fosforo totale	Phosphorus	kg/t
H2S	hydrogen sulfide	kg/t
HCl	hydrogen chloride	kg/t
HF	hydrogen fluoride	kg/t
Hg	mercury	kg/t
IPA	polycyclic aromatic hydrocarbons	kg/t
N totale	nitrogen, total (excluding N2)	kg/t
N2O	nitrous oxide	kg/t
Naftalene	naphthalene	kg/t
NH3	ammonia	kg/t
Ni	nickel	kg/t
Nox	nitrogen dioxide	kg/t
Pb	lead	kg/t
PCB DL	2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	kg/t
PCDD	2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	kg/t
polveri totali	particles (PM10)	kg/t
Sb As altri	arsenic	kg/t
SOT	volatile organic compound	kg/t
Sox	sulfur oxides	kg/t
Zn	zinc	kg/t

Tab. 34 – Descrizione dei campi della Tabella FattoriEmissiviSpecificiProcessi

Campo	descrizione
Parametro	Parametro (contaminante, consumo idrico, etc) come definito nella Tabella FES_FlowName
Processo	Processo come definito nella Tabella Processi
UM	unità di misura del parametro
Valore	Fattore di Emissione Specifico stimato per il parametro e per il processo
Fonte	Fonte utilizzata nella stima del Fattore di Emissione Specifico
Nota	
FLOW_class1	Classe a cui appartiene il parametro (campo collegato all'omonimo campo della Tabella:FattoriImpattoEF3Semplificata Emissions to air Emissions to soil Emissions to water Land occupation Land transformation Resources from air Resources from ground Resources from water

	Applicazione della Metodologia LCA alla valutazione degli scenari di Piano Regionale	Febbraio 2022
		39 di 41

Tab. 35 – Descrizione dei campi della Tabella TblSelezioneFattoriCaratterizzazioneEF3

Campo	Descrizione
Processo	Processo come definito nella Tabella Processi
Parametro	Parametro (contaminante, consumo idrico, etc) come definito nella Tabella FES_FlowName
FLOW_name	Nome corrispondente del Parametro come selezionato nella Tabella FES_FlowName
LCIAMethod_name	Nome della Categoria d'Impatto
LCIAMethod_meanvalue	Valore del parametro (Fattore di caratterizzazione definito nel Metodo EF 3.0)
FLOW_class0	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions Land Use Resources
FLOW_class1	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions to air Emissions to soil Emissions to water Land occupation Land transformation Resources from air Resources from ground Resources from water
FLOW_class2	Classe a cui appartiene il parametro:
	Emissions to agricultural soil Emissions to air, indoor Emissions to air, unspecified Emissions to air, unspecified (long-term) Emissions to fresh water Emissions to lower stratosphere and upper troposphere Emissions to non-agricultural soil Emissions to non-urban air close to ground Emissions to non-urban air high stack Emissions to non-urban air low stack Emissions to non-urban air or from high stacks Emissions to non-urban air very high stack Emissions to sea water Emissions to soil, unspecified Emissions to urban air close to ground Emissions to urban air high stack Emissions to urban air low stack Emissions to urban air very high stack Emissions to water, unspecified Emissions to water, unspecified (long-term) Non-renewable element resources from ground Non-renewable energy resources from ground Renewable material resources from air Renewable material resources from water
LCIAMethod_location	Classe a cui appartiene il parametro:
	Non definita Definita (es. IT, Italia)
LCIAMethod_derivation	L'origine del Metodo può essere classificato con: N CALCULATED ESTIMATED UNKNOWN_DERIVATION
LCIAMethod_direction	INPUT o OUTPUT

7.2 LE RELAZIONI TRA LE TABELLE

Si riportano di seguito le relazioni definite tra le tabelle del Database e l'indicazione delle chiavi primarie di ogni tabella.

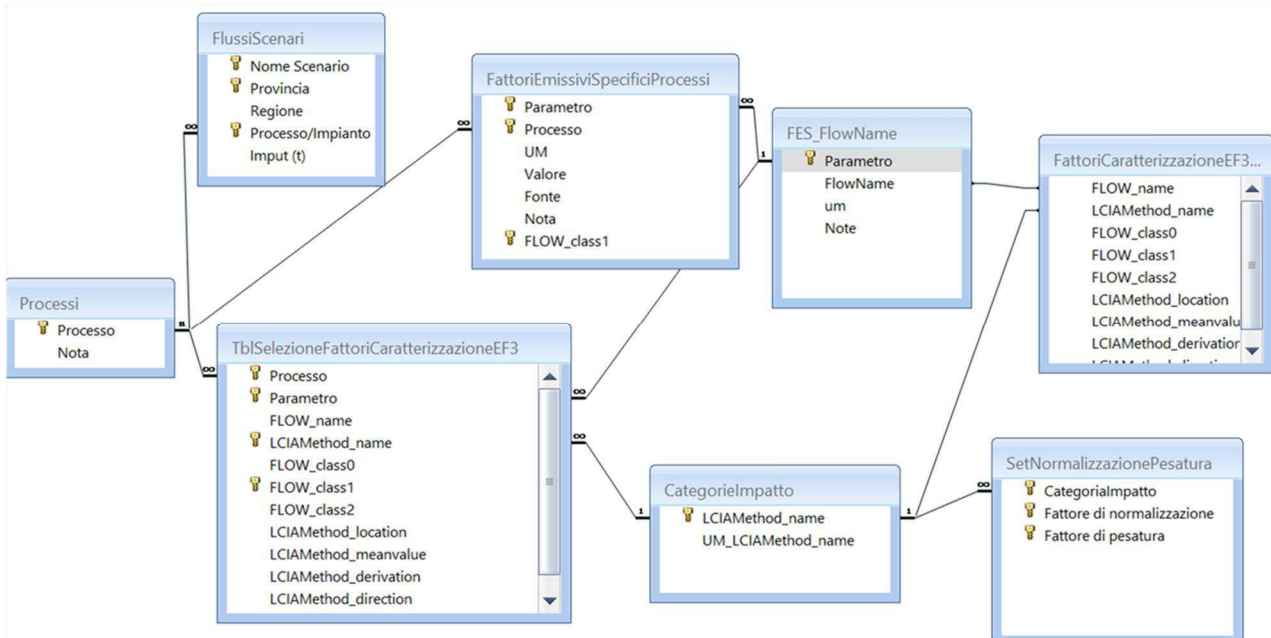


Fig. 9 – Relazioni tra le tabelle e indicazione delle chiavi primarie definite per le stesse

7.3 LE PRINCIPALI QUERY

Si riportano di seguito le principali query del database e le relative funzioni:

- TblScenariCampiIncrociati: permette la visualizzazione, attraverso una tabella a campi incrociati, dei quantitativi di rifiuti in input a ciascun processo considerato nei diversi scenari;
- Qry01CalcoloImpattoUnitario: Esegue la moltiplicazione, per ogni scenario, processo e parametro, del fattore di emissione specifico per il relativo fattore di caratterizzazione EF3;
- Qry02CalcoloImpatto: Il prodotto calcolato nella Qry01CalcoloImpattoUnitario viene moltiplicato per i flussi di input al processo;
- Qry03CalcoloImpattoNormPes: Esegue normalizzazione e pesatura dei fattori di impatto calcolati nella query Qry02CalcoloImpatto (fattori adimensionali);
- Qry04CalcoloImpattoRisultati: esegue la somma dei fattori di impatto normalizzati e pesati adimensionali calcolati nella query Qry03CalcoloImpattoNormPes;
- Qry05CalcoloImpattoNormPesCampiIncrociati: visualizza i risultati dettagliati per categoria attraverso una tabella a campi incrociati.

Le query di accodamento QrySelezioneFattoriCaratterizzazione e QryAccodamentoFattoriCaratterizzazione consentono una selezione più rapida, seppure manuale, dei fattori di caratterizzazione definiti nel metodo EF3 per un dato parametro (associato ad un processo) per il quale è stato stimato un Fattore di Emissione Specifico.

7.4 LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI

I risultati dell'analisi sono rappresentati nei seguenti grafici:

- GraficoLCA_Scenari che riporta il risultato finale dell'analisi, ossia il confronto tra gli scenari attraverso un indicatore di impatto complessivo adimensionale;
- GraficoLCA_Scenari_Categorie che evidenzia il contributo delle diverse classi di impatto nell'indicatore complessivo.

Bibliografia

- [1] Impatti Energetici e ambientali dei combustibili nel riscaldamento residenziale - Enea 2017
- [2] Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei - Ispra Edizione 2020
- [3] Dichiarazione Ambientale Impianto di Termovalorizzazione del GerbidoTorino Redatta ai sensi del Reg.to CE 1221/2009 EMAS così come modificato dal Reg. UE 1505/2017 e successivamente dal Reg. CE 2026/2018, 2019
- [4] Valutazione dell'efficienza energetica "R1" conseguita nel 2020 dal Termovalorizzatore di Torino – LEAP 2021
- [5] Fattori emissivi trasporto <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/fetransp>
- [6] JRC Technical Reports - Suggerimenti per l'aggiornamento del metodo di calcolo dell'impronta ambientale di prodotto (PEF), Zampori, Pant, 2019
- [7] Metals recovery from incineration bottom ashes: future opportunities in Italy M. Grosso, L. Rigamonti, L. Biganzoli, G. Schiona, 2010
- [8] Trattamento e recupero delle ceneri pesanti da incenerimento, Rapporto Finale, LEAP2017
- [9] JRC Technical Reports - Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019
- [10] Fattibilità di un impianto di trattamento del rifiuto residuo da raccolte differenziate (RUR) finalizzato alla massimizzazione del recupero di materia e minimizzazione del ricorso alla discarica, secondo il concetto della "Fabbrica dei Materiali", a servizio dei Comuni della Provincia di Novara, Scuola Agraria del Parco di Monza, luglio 2015
- [11] Autorizzazione Integrata ambientale Impianto Solval di Rosignano Marittimo (LI)
- [12] Collaborazione alla predisposizione di report annuali e pluriennali relativamente agli indicatori descrittivi previsti nel PMA di cui alla DCR 19 aprile 2016, n. 140-14161, ARPA Piemonte, 2019
- [13] Primo Rapporto di Monitoraggio PRGRU 2018, Regione Piemonte, dicembre 2019
- [14] Rapporto Ambientale relativo al progetto di Piano Regionale di Gestione dei rifiuti 2016, Allegato B alla DGR n. 140-14161 del 19 aprile 2016
- [15] Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) Final Report, European Commission – Directorate General Environment, Luglio 2003
- [16] Dati SME relativi alle emissioni al camino TRM nella disponibilità di ATO-R
- [17] Valutazione dei flussi di scarto nella gestione dei rifiuti urbani in Italia, M. Grosso, M. Bellan, Marzo 2020
- [18] Valutazione dei flussi di scarto nella gestione dei rifiuti urbani in Italia, IA, Marzo 2020, M. Grosso, M. Bellan,
- [19] Valutazione con analisi LCA di sistemi integrati di gestione dei rifiuti, La gestione integrata dei rifiuti, Milano 28-31 gennaio 2008, M. Grosso, M. Giugliano