

***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***



**Dipartimento  
Coordinamento servizi, ICT e  
promozione ambientale**

Sistema Informativo ambientale e  
geografico, Comunicazione e  
Educazione ambientale

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA .....  | 3  |
| 2. IL PRIMO MODELLO DI VALUTAZIONE AMBIENTALE .....                | 3  |
| 3. IL DATABASE .....   | 5  |
| 4. LO SCENARIO VINCENTE E I SUCCESSIVI SVILUPPI.....               | 6  |
| 5. IL PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE .....                       | 8  |
| 6. L'AGGIORNAMENTO DEL MODELLO DI VALUTAZIONE .....                | 8  |
| 7. METODOLOGIA .....   | 10 |
| 7.1 Indicatori di impatto.....                                     | 10 |
| 7.2 Fattori di emissione specifici per tipologia di impianto ..... | 12 |
| 8. RISULTATI.....  | 13 |
| 8.1 Compostaggio.....  | 14 |
| 8.2 Trattamento meccanico-biologico .....                          | 15 |
| 8.3 Digestione anaerobica .....                                    | 16 |
| 8.4 Smaltimento in discarica.....                                  | 18 |
| 8.5 Incenerimento .....  | 19 |
| 8.6 Co-incenerimento .....   | 21 |
| 9. CONCLUSIONI .....   | 23 |

## 1. PREMESSA

La presente relazione riguarda l'attività di assistenza tecnica svolta dall'Arpa in riferimento a quanto previsto dal programma di attività 2019, e precisamente al punto 1.3: "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".

Nell'ambito della procedura di aggiornamento del Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti Urbani della Regione Piemonte, pubblicato sul B.U.R. n. 18 del 5 maggio 2016, è stata svolta la procedura di VAS (Valutazione Ambientale Strategica), finalizzata a valutare gli scenari alternativi di gestione del rifiuto urbano. Arpa aveva contribuito nel 2009 alla redazione della VAS sulla proposta di Piano Regionale dei rifiuti, con particolare riferimento alla relazione tecnica contenente la valutazione e comparazione dei diversi scenari di trattamento presi in considerazione dalla proposta di Piano.

Arpa Piemonte aveva elaborato un modello che consentiva di effettuare la valutazione degli scenari alternativi proposti dal Piano e di eseguire successivamente il monitoraggio delle ricadute ambientali determinate dalla sua applicazione. Il modello prendeva in considerazione gli impatti associati ai diversi tipi di impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti, evidenziando l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente.

Esso si rifaceva come impostazione alle tecniche della Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita), strumento comunemente utilizzato fin dalla prima metà degli anni '90 per la valutazione degli effetti ambientali di scenari di gestione di rifiuti.

Si era individuata una metodologia di valutazione degli effetti ambientali di ciascuna tipologia di impianto in relazione alle tonnellate di rifiuto trattate, allo scopo di calcolare l'effetto cumulato di tutti gli impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti urbani di un qualsiasi ambito territoriale di riferimento.

## 2. IL PRIMO MODELLO DI VALUTAZIONE AMBIENTALE

Il modello di valutazione ambientale prendeva in considerazione le seguenti tipologie di impianto, preferibilmente esistenti o in corso di realizzazione nel territorio piemontese o, in alternativa, individuate dalle "Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili in materia di gestione dei rifiuti, per le attività elencate nell'allegato I del D.Lgs 59/2005":

- Trattamento Meccanico Biologico mediante biostabilizzazione (TMB Biostabilizzazione);
- Trattamento Meccanico Biologico mediante bioessiccazione (TMB Bioessiccazione);
- Produzione di CDR;
- Termovalorizzatore a Griglia;

- Termovalorizzatore a Letto Fluido;
- Co-combustione (cementificio);
- Discarica di rifiuti non pericolosi.

Per ciascuna tipologia di impianto, veniva individuato un set di parametri ambientali utili per descrivere il quadro delle emissioni in atmosfera e in ambiente idrico, dei consumi idrici e dei recuperi energetici, quantificando anche le emissioni sostituite con il risparmio di energia e il recupero di materia.

Nel modello elaborato il processo di valutazione dei carichi ambientali avveniva principalmente attraverso l'identificazione e quantificazione dell'energia prodotta e consumata e delle emissioni in aria e acqua, quantificando gli input e gli output per ogni singola sezione del sistema integrato di gestione dei rifiuti (impianti di trattamento e di smaltimento).

Lo schema complessivo prevedeva la predisposizione, per ogni impianto di trattamento o di smaltimento, di una scheda che comprendeva un set di indicatori strettamente connessi con le azioni di trattamento e smaltimento rifiuti, riguardanti le seguenti categorie:

- consumi e recuperi energetici;
- emissioni atmosferiche;
- emissioni idriche;
- consumi idrici;
- rifiuti solidi generati.

Per quanto riguarda le emissioni atmosferiche e idriche era stato scelto un set di parametri, in base a un criterio di significatività e rappresentatività delle pressioni di ogni tipologia di impianto nell'ambito della valutazione dei vari tipi di impatto (effetto serra, tossicità, acidificazione, ecc.), e di possibilità di comparazione tra i vari tipi di impianti.

Tutti i dati relativi a ciascun impianto erano stati riferiti ad una tonnellata di rifiuto in ingresso, quindi ogni parametro in uscita dalla scheda definiva la quantità di ciascun composto emesso o il quantitativo di energia o acqua consumata, per il trattamento o lo smaltimento di una tonnellata di rifiuto. In tal modo, inserendo le tonnellate di rifiuto annualmente avviate ai vari tipi di impianto, si arrivava ad una quantificazione delle emissioni totali annue.

Gli indicatori di categorie di impatto, scelti in quanto rappresentativi degli effetti ambientali più rilevanti, erano i seguenti:

- potenziale di tossicità umana;
- potenziale di tossicità per l'ambiente acquatico;
- potenziale di riscaldamento totale;
- potenziale di acidificazione;
- potenziale di eutrofizzazione;

- potenziale di creazione fotochimica di ozono.

Per completezza si era ritenuto di integrare gli indicatori sopra descritti con ulteriori tre indicatori che, pur non essendo standardizzati nell'ambito di una procedura internazionale, erano stati ritenuti funzionali a un monitoraggio efficace delle prestazioni del Piano.

Si tratta di:

- impoverimento delle risorse idriche;
- sostituzione di fertilizzanti di sintesi con compost di qualità;
- occupazione di volumetrie in discarica.

Per la predisposizione del modello erano stati utilizzati dati reali, riguardanti impianti piemontesi, ricavati dalle documentazioni inerenti alle procedure IPPC, controlli Arpa, dichiarazioni EMAS, progetti e studi di impatto di impianti autorizzati. Per alcuni parametri, in mancanza di informazioni relative ad impianti operanti, i dati sono stati desunti dalla letteratura. Tali parametri erano stati trasformati in indicatori standardizzati secondo l'approccio della Sostanza Equivalente che consente di ricondurre i vari inquinanti tipici di ogni categoria di impatto a un unico valore di riferimento. Gli indicatori così ottenuti sono stati analizzati nell'ambito delle categorie d'impatto correntemente utilizzate per la valutazione del ciclo di vita degli impianti produttivi (IPPC 2006).

Per la quantificazione degli impatti era stato realizzato un database che metteva a sistema i calcoli necessari a ottenere un indice relativo per ciascuna delle categorie d'impatto<sup>1</sup>.

Gli indicatori ottenuti avevano permesso di mettere a confronto scenari alternativi di gestione dei rifiuti fornendo utili indicazioni sulla sostenibilità ambientale degli stessi e supportare le scelte strategiche di pianificazione.

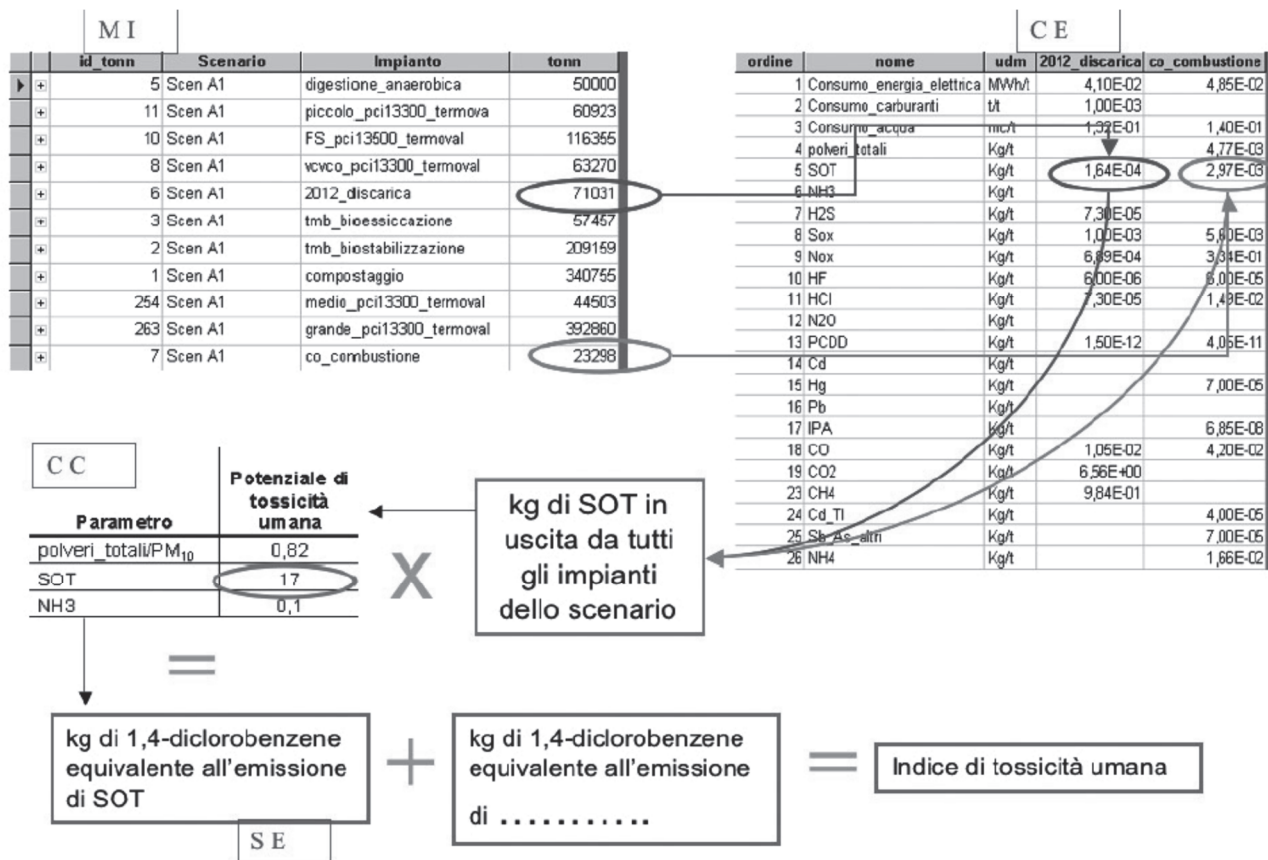
### **3. IL DATABASE**

Il database conteneva diverse tabelle, in alcune erano dettagliati gli scenari e per ciascuno di essi elencati gli impianti previsti con le tonnellate in ingresso. Vi era poi una tabella che quantificava i fattori di emissione, di produzione e di consumo per ciascun tipo di impianto. Moltiplicando le tonnellate in ingresso agli impianti per questi fattori si ottenevano i dati reali di emissione, produzione e consumo per ciascun scenario. Tramite la conversione in sostanza equivalente si ottenevano poi gli indicatori d'impatto, come esemplificato nell'immagine sottostante.

---

<sup>1</sup> A. Laccisaglia, L. Sartore, E. Rivella, P. Penna. Modello per la valutazione di scenari di gestione dei rifiuti urbani. RS Rifiuti Solidi vol. XXVI n.4 luglio-agosto 2012, pp. 201-209.

Figura 1 – Coefficienti di conversione in sostanze equivalenti dei parametri di emissione (kg/t)



#### 4. LO SCENARIO VINCENTE E I SUCCESSIVI SVILUPPI

Nel rapporto ambientale erano stati sottoposti ad analisi vari scenari rispondenti agli obiettivi di Piano indicati in prima istanza<sup>2</sup>. I vari scenari individuati, suddivisi a loro volta in vari sottoscenari, erano stati analizzati secondo il modello descritto, che prendeva in considerazione gli impatti associati ai diversi impianti di trattamento e smaltimento, evidenziando l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e di rilasci nell'ambiente. Ogni scenario essendo costituito da una serie di impianti correlati tra loro, aveva una propria quantificazione in termini di fattori emissivi. Una particolare attenzione era stata posta alla "tossicità umana" ed al "riscaldamento globale". Tali indicatori infatti risultavano di gran lunga i più importanti nella valutazione complessiva delle scelte da effettuare per il raggiungimento degli obiettivi di Piano. Riguardo all'indicatore tossicità umana, i

<sup>2</sup> Allegato B – Rapporto Ambientale relativo al Progetto di Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti Urbani. In "Piano di Gestione dei Rifiuti Urbani e dei Fanghi di Depurazione", Deliberazione del Consiglio regionale 19 aprile 2016, n. 140 – 14161, pp. 63-115. A cura di: Enrico Accotto, Claudia Bianco, Paola Bergero, Rosanna Bottin, Adele Celauro, Anna Nemo, Paolo Penna, Carlo Scarrone. In collaborazione con Arpa Piemonte: Renzo Barberis, Elisa Calderaro, Alessandra Laccisaglia, Enrico Rivella, Laura Sartore.

fattori che lo influenzano riguardano anche altri indicatori come la tossicità per la flora e la fauna e la qualità della vita: in altre parole l'indicatore "tossicità umana" è da considerare un super-indicatore, i cui fattori presi in considerazione sono in grado di condizionare la presenza stessa degli organismi viventi nell'area presa in esame. Per quanto riguarda il riscaldamento globale, i fattori che lo influenzano non riguardano soltanto il cosiddetto "effetto serra", ma anche tutti i rapporti energia-ambiente che a loro volta hanno obiettivi di riduzione dei consumi e sostenibilità della produzione di energia, in particolare elettrica, da produrre preferibilmente a partire da fonti rinnovabili: utilizzando i rifiuti per la produzione di energia si ha quindi un risvolto positivo.

Una volta individuato lo scenario vincente, il modello di valutazione originariamente studiato per questo scopo aveva subito alcune modifiche per diverse ragioni.

I dati sui carichi ambientali dei singoli impianti e sui fattori di conversione inseriti nel modello utilizzato in fase di redazione del piano erano risultati infatti piuttosto datati (generalmente tra il 2000 e il 2005) e dovevano sicuramente essere rivalutati. Nel 2014 Arpa aveva provveduto a implementare il modello, nato nel 2009, con nuovi dati tecnici e utilizzandolo per la comparazione degli scenari aggiornati, così come proposti dalla Regione; il modello era stato consolidato al fine di permettere ulteriori future elaborazioni.

In occasione di tale aggiornamento era emersa l'esigenza di effettuare una periodica revisione del modello, in modo che potesse diventare uno strumento di valutazione, in caso di necessità, dotato di dati impiantistici regolarmente aggiornati mediante l'analisi di nuovi impianti presenti in Regione e della documentazione aggiornata di quanto già esistente. Nell'anno 2015 era stato pertanto previsto l'inizio di una fase di manutenzione del suddetto modello di analisi degli scenari sia attraverso l'aggiornamento dei dati impiantistici sulle tipologie di impianti attualmente presenti, sia con l'individuazione di nuove tipologie impiantistiche da analizzare, e la successiva messa a disposizione nella piattaforma informatica consolidata.

In una prima fase si era deciso di analizzare le modifiche dei dati relativi agli impianti di digestione anaerobica, che negli anni precedenti al 2009 erano quasi inesistenti in Regione, e per i quali pertanto erano disponibili pochissimi dati diretti, e solo alcuni di letteratura relativi al territorio nazionale. Questa tipologia era stata in seguito meglio rappresentata in quanto diversi impianti di compostaggio avevano previsto una precedente fase anaerobica integrata, e inoltre erano sorti diversi impianti in relazione agli incentivi statali per il recupero energetico da rifiuti.

A seguito dell'entrata in vigore del D.lgs. 04/03/2014 n° 46, con cui erano state inserite nuove attività da sottoporre ad autorizzazione integrata ambientale, molte ditte avevano dovuto presentare istanza di AIA, fornendo quindi in documentazione diversi dati utili per l'aggiornamento del modello di valutazione ambientale.

## 5. IL PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

L'elaborazione di un Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) e controllo degli impatti ambientali significativi derivanti dall'attuazione del Piano di gestione dei rifiuti urbani è un'attività espressamente prevista dalla direttiva 2001/42/CE, dalla norma nazionale e da quella regionale relativa alla VAS. Attraverso il monitoraggio è possibile seguire, nel corso degli anni, l'attuazione del Piano ed i suoi reali effetti sulla gestione del sistema rifiuti e sulle componenti ambientali.

Il PMA del Piano dei rifiuti urbani prevede anche una serie di indicatori "descrittivi", rappresentativi degli effetti ambientali più rilevanti, che devono essere riportati a cadenza biennale. Infatti, il monitoraggio prevede delle tappe "istituzionalizzate" con la pubblicazione di apposite relazioni periodiche (Rapporto di Monitoraggio). Tali indicatori descrittivi, scelti in quanto rappresentativi degli effetti ambientali più rilevanti e funzionali ad un controllo efficace delle prestazioni del Piano, sono i seguenti:

- potenziale di tossicità umana;
- potenziale di tossicità per l'ambiente acquatico;
- potenziale di riscaldamento totale;
- potenziale di acidificazione;
- potenziale di eutrofizzazione;
- potenziale di creazione fotochimica di ozono.

La maggior parte di questi indicatori è desumibile dal modello utilizzato per la valutazione degli scenari di Piano: implementando il modello con i dati reali relativi agli impianti effettivamente operanti nei singoli anni e considerando le quantità di rifiuti gestiti da tali impianti, si può costruire un andamento nel tempo degli indicatori considerati.

Per ottenere ciò, si è avviato, a partire dal 2015, un processo di aggiornamento dei dati di impatto e dei diversi coefficienti di conversione utilizzati dal modello, iniziando, come già accennato, con i dati relativi agli impianti di digestione anaerobica e continuando con i dati di impatto dell'impianto di termovalorizzazione di Torino (TRM) riferiti all'anno 2016, sulla base dei quali sono stati aggiornati alcuni degli indicatori descrittivi sopra riportati.

## 6. L'AGGIORNAMENTO DEL MODELLO DI VALUTAZIONE

Tra gli obiettivi istituzionali di ARPA del 2018, nell'ambito dei rifiuti, è stato previsto anche quello relativo alla collaborazione per la stesura del primo rapporto di monitoraggio: "Con riferimento al Piano Rifiuti Urbani e Piano Rifiuti Speciali, predisposizione di report relativi agli indicatori prestazionali e descrittivi indicati nella tabella 4 del PMA di cui alla DCR 19 aprile 2016, n. 140-



14161 (Piano Rifiuti Urbani)”. La realizzazione dell'obiettivo è stata seguita dalla Sezione Regionale del Catasto Rifiuti e dal Coordinamento rifiuti.

Tra i suddetti report sugli indicatori, figura anche un monitoraggio sull'attuazione del Piano condotto attraverso l'applicazione del modello di valutazione degli scenari di piano che, opportunamente adeguato, verrà utilizzato per i biennali rapporti di monitoraggio sugli impatti sull'ambiente e sulla salute causati dall'attuazione del Piano stesso.

Per il 2018 è stato previsto un primo rapporto (riferito ai dati 2016) che ha utilizzato i dati di base del modello approvato nel Piano, adeguando solamente i dati relativi ai rifiuti effettivamente conferiti agli impianti e i dati emissivi del termovalorizzatore di Torino.

Per il successivo rapporto del 2020 si vuole però fare una revisione più ampia dei dati di input del modello, con particolare riferimento ai dati di carico ambientale delle singole tipologie impiantistiche (prendendoli per quanto possibile dai dati reali degli impianti piemontesi) nonché ai coefficienti di trasformazione di tali dati in impatti sulla salute e sull'ambiente.

Nell'anno 2018 dunque, in accordo con la Regione, si è avviato l'aggiornamento dei principali dati sulle altre tipologie impiantistiche, quali coincenerimento, discariche, trattamento meccanico-biologico, sia per quanto riguarda i dati direttamente misurabili (consumi, emissioni, ...) che per quanto attiene ad un aggiornamento dei dati bibliografici ricavati da modelli LCA più recenti.

Per la complessità dell'argomento in questione, l'aggiornamento del modello è stato affidato ad una commissione appositamente costituita all'interno del Coordinamento Rifiuti di Arpa Piemonte (Commissione “Revisione Modello Valutativo Scenari di Piano”), che comprende personale della sede centrale e personale dei Dipartimenti, la quale ha iniziato i lavori il 18 settembre 2018, in coordinamento anche con i funzionari regionali. Si è innanzitutto provveduto ad aggiornare i dati inseriti nel modello al fine di permettere il calcolo del carico ambientale iniziale (in termini di impatto sulla salute e sull'ambiente), da utilizzare come livello di partenza (sui dati 2016), nel monitoraggio del Piano Rifiuti. È stato necessario dunque procedere alla ricerca di dati sui carichi ambientali derivanti dalle diverse tipologie di impianti presenti nel Piano dei Rifiuti Urbani nonché all'aggiornamento dei dati sui fattori di conversione dei suddetti carichi ambientali per trasformarli nei fattori di impatto previsti dal modello. Si è deciso di procedere su un doppio binario: da un lato Regione ed Arpa hanno individuato dati bibliografici su pubblicazioni o su banche dati normalmente utilizzate per le LCA, dall'altro Arpa doveva procedere alla ricerca di dati diretti provenienti dagli impianti di trattamento piemontesi (in particolare sfruttando i dati dei PMC dei vari impianti). Quest'ultima ricerca ha portato alla condivisione, in particolare da parte dei colleghi dei dipartimenti territoriali, di dati su termodistruzione, coincenerimento, trattamento di bioessicazione, trattamento di biostabilizzazione e produzione di CDR, compostaggio e discariche. Questi dati sono stati esaminati in dettaglio e, a livello generale, è emerso che i dati che possono essere raccolti da impianti realmente operanti nella realtà regionale sono sicuramente preferibili a quelli reperibili in letteratura; questi ultimi devono essere utilizzati, dopo attenta valutazione critica, solo in caso di

manca di dati diretti. In particolare, si è visto che i dati disponibili direttamente sono in grado di coprire la maggior parte dei carichi ambientali che poi, attraverso i fattori di conversione, vengono convertiti dal modello in fattori di impatto sulla salute umana, sul clima, sulle acque etc.

È stato inoltre deciso che, nell'inopportunità di rivedere la struttura del modello, risulta appropriato provvedere alla ricerca ed aggiornamento dei soli carichi ambientali ai quali sono associati dei fattori di conversione che li trasformano negli impatti complessivi sull'ambiente e sulla salute. Dal momento che la rilevazione potrebbe non riguardare lo stesso anno per tutti gli impianti si è convenuto di mantenere un range temporale sul quale lavorare (dati acquisiti tra il 2015 e 2017).

Tali attività sono proseguite nell'anno 2019, arrivando alla messa a punto di un modello utilizzabile per effettuare il monitoraggio ambientale dello scenario reale. In tale scenario sono stati inseriti tutti gli impianti facenti parte del sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani, inserendo inizialmente i quantitativi previsti dal Piano e successivamente, per ciascun anno, i quantitativi effettivamente trattati dagli impianti presenti. La performance ambientale può quindi variare ogni anno in funzione degli input inseriti, determinando in conseguenza i fattori emissivi, i consumi ecc.

## **7. METODOLOGIA**

Con il fine di rendere noti e ricostruibili i principali presupposti e le assunzioni di metodo che sottendono l'elaborazione dei fattori di emissione utilizzati per confrontare differenti soluzioni tecnologiche nonché di pianificazione nella gestione dei rifiuti solidi urbani prodotti in regione Piemonte, nel seguito si riportano sinteticamente i passaggi essenziali della metodologia impiegata.

### **7.1 Indicatori di impatto**

In senso del tutto generale, è innanzitutto opportuno esplicitare che, nelle elaborazioni presentate, in linea con le posizioni scientifiche più rigorose e trasparenti in ambito di Life Cycle Assessment (LCA), le emissioni di anidride carbonica CO<sub>2</sub> di origine biogenica liberate durante incenerimento, coincenerimento o trattamento biologico dei rifiuti sono state considerate neutrali in termini di potenziale di riscaldamento globale. Al contrario, le emissioni di metano CH<sub>4</sub> e di protossido di azoto N<sub>2</sub>O, ancorché originati a partire da materiali biodegradabili, sono stati considerate emissioni attive ed alle stesse sono stati attribuiti i seguenti potenziali climalteranti (GWP) sull'orizzonte temporale di 100 anni<sup>3</sup>:

---

<sup>3</sup> 2013 IPCC AR5 p.714

- metano CH<sub>4</sub>: 34;
- protossido di azoto N<sub>2</sub>O: 298.

Sempre in termini generali, vale a dire applicabili a molte fattispecie tecnologiche analizzate, il fattore di emissione di CO<sub>2</sub> riferibile al parco termoelettrico italiano è pari a 488,9 g CO<sub>2</sub>/kWh, come riportato da ISPRA per l'anno 2015<sup>4</sup>. Questo dato è utile per poter ricostruire quale sia l'impatto in termini di gas serra del consumo di energia elettrica da parte degli impianti oppure il beneficio in termini di CO<sub>2</sub> evitata per via della generazione di energia elettrica negli impianti di trattamento dei rifiuti.

Allo stesso modo, sempre dallo studio ISPRA citato, è ricavabile il fattore di emissione relativo alla combustione di gasolio, pari a 3,155 t CO<sub>2</sub>/t<sup>5</sup>.

Il dato di emissione di N<sub>2</sub>O dagli impianti di compostaggio e di trattamento meccanico biologico, pari a 200 g/t di rifiuto tal quale, è derivato dalla Linea Guida IPCC del 2006 ed è stato confermato da successivi studi di letteratura<sup>6</sup>.

Nella tabella 1 sono riportati i coefficienti di conversione tra i parametri utilizzati per determinare le emissioni di ciascun impianto e la sostanza equivalente che consente di convertire i parametri in indici di impatto. Rispetto ai coefficienti riportati nel Rapporto Ambientale<sup>7</sup> sono stati modificati solo i parametri di N<sub>2</sub>O e del CH<sub>4</sub>, per le motivazioni sopra riportate.

---

<sup>4</sup> Rapporto 257/2017, fattori di emissione atmosferica di CO<sub>2</sub> ed altri gas ad effetto serra nel settore elettrico.

<sup>5</sup> Tabella parametri standard nazionali, Coefficienti utilizzati per l'inventario delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'inventario nazionale UNFCCC.

<sup>6</sup> Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. Florian Amlinger, Stefan Peyr, Carsten Cuhls. Waste Management & Research 2008: 26: 47–60.

Mechanical Biological Treatment as a Solution for Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Landfills in Thailand, S.N.M. Menikpura, Janya Sang-Arun and Magnus Bengtsson, The ISWA World Solid Waste Congress 2012, 17-19 September 2012, Florence, Italy.

<sup>7</sup> Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani e dei fanghi di depurazione, BUR 18/2016, capitolo 6.2

**Tabella 2 – Coefficienti di conversione in sostanze equivalenti dei parametri di emissione (kg/t)**

| Parametro                                   | potenziale di tossicità umana | potenziale di eutrofizzazione | Potenziale di riscaldamento totale | Potenziale di acidificazione | Potenziale di creazione fotochimica di ozono | Potenziale tossicità per l'ambiente acquatico PNEC |
|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|--|
| polveri_totali/PM <sub>10</sub>             | 1                             |                               |                                    |                              |  |  |
| SOT   | 17                            |                               |                                    |                              | 0  |  |
| NH <sub>3</sub>                             | 0                             |                               |                                    | 2                            |  |  |
| H <sub>2</sub> S                            | 0                             |                               |                                    |                              |  |  |
| SOx   | 0                             |                               |                                    | 1                            | 0  |  |
| NOx   | 1                             |                               |                                    | 1                            | 3  |  |
| HF  | 290                           |                               |                                    |                              |  |  |
| HCl   | 1                             |                               |                                    |                              |  |  |
| N <sub>2</sub> O                            |                               |                               | 298                                |                              |  |  |
| PCDD  | 1.900.000.000                 |                               |                                    |                              |  | 0  |
| Cd  | 150.000                       |                               |                                    |                              |  |  |
| Hg  | 6.000                         |                               |                                    |                              |  |  |
| Pb  | 470                           |                               |                                    |                              |  |  |
| IPA   | 570.000                       |                               |                                    |                              |  |  |
| CO  |                               |                               |                                    |                              | 0  |  |
| CO <sub>2</sub>                             |                               |                               | 1                                  |                              |  |  |
| CH <sub>4</sub>                             |                               |                               | 34                                 |                              | 0  |  |
| Cd_Tl                                       | 150.000                       |                               |                                    |                              |  |  |
| Sb_As_altri                                 | 382.000                       |                               |                                    |                              |  |  |
| NH <sub>4</sub>                             | 0                             |                               |                                    | 2                            |  |  |
| CO <sub>2</sub> _energia                    |                               |                               | 1                                  |                              |  |  |
| CO <sub>2</sub> _gasolio                    |                               |                               | 1                                  |                              |  |  |
| CO <sub>2</sub> _energia_prodotta_termica   |                               |                               | 1                                  |                              |  |  |
| CO <sub>2</sub> _energia_prodotta_elettrica |                               |                               | 1                                  |                              |  |  |
| COD_dep                                     |                               | 0                             |                                    |                              |  |  |
| Fosforo_tot_dep                             |                               | 1                             |                                    |                              |  |  |
| Fenoli                                      |                               |                               |                                    |                              |  | 0  |
| Hg_scorie                                   |                               |                               |                                    |                              |  | 0  |
| Hg_ceneri                                   |                               |                               |                                    |                              |  | 0  |
| N_tot_dep                                   |                               | 0                             |                                    |                              |  |  |
| N_ammoniacale_dep                           |                               | 0                             |                                    |                              |  | 0  |

## 7.2 Fattori di emissione specifici per tipologia di impianto

Prima di passare alla disamina delle scelte metodologiche assunte per le differenti tecnologie impiantistiche, è opportuno infine sottolineare come la determinazione dei fattori emissivi sia stata realizzata normalizzando i flussi di massa annualmente emessi in atmosfera o scaricati, così come i quantitativi energetici consumati o prodotti e le materie utilizzate, al quantitativo di rifiuto alimentato all'impianto di trattamento, ricomprendendo in tal modo anche rifiuti che non sono RSU (ad esempio i rifiuti ligneo-cellulosici del compostaggio o i rifiuti speciali per la produzione di CDR/CSS). Tale scelta consente di rappresentare correttamente il fattore di impatto (o di beneficio) specifico di una

tecnologia di trattamento rispetto ad un'altra, perseguendo un approccio metodologico di tipo "olistico".

## 8. RISULTATI

Di seguito vengono esposte, per le tipologie di impianti di trattamento e smaltimento considerate, facenti parte dello scenario reale, le tabelle con i fattori di emissione specifici.

Tutti i dati relativi a ciascun impianto sono riferiti ad una tonnellata di rifiuto in ingresso, quindi ogni parametro in uscita dalla scheda definisce la quantità di ciascun composto emesso o il quantitativo di energia o acqua consumata, per il trattamento o lo smaltimento di una tonnellata di rifiuto. In tal modo, inserendo i dati di flusso di rifiuto annualmente avviato ai vari tipi di impianto, si arriva ad una quantificazione delle emissioni totali annue.

A livello generale, è emerso che la ricerca di dati presso gli impianti di trattamento piemontesi, che sono stati giudicati preferibili a quelli reperibili in letteratura, ha prodotto degli ottimi risultati su tutte le tipologie impiantistiche, ad eccezione della discarica; su quest'ultima tipologia di impianto risulta difficile ricavare da dati sperimentali i carichi unitari ambientali rapportati alla singola tonnellata di rifiuto conferito.

In caso di disponibilità di dati, fatte le opportune verifiche di attendibilità, si è operato come segue: qualora presenti più dati annuali in riferimento allo stesso impianto, si è utilizzato il dato più conservativo dal punto di vista ambientale (ovvero il dato più alto); qualora invece siano presenti dati individuati come affidabili di impianti analoghi (es. più impianti di digestione anaerobica) sono stati invece elaborati come media.

Gli impianti presi in esame e considerati nello scenario di piano sono stati i seguenti:

- Compostaggio (G.A.I.A. spa di San Damiano d'Asti)
- Trattamento meccanico biologico di bioessiccazione (A2A Ambiente di Villafalletto)
- Trattamento meccanico biologico di biostabilizzazione (AMA di Magliano Alpi)
- Produzione di CSS (ACSR ex Idea Granda di Roccavione)
- Digestione anaerobica (Acea di Pinerolo, San Carlo di Fossano, Galatero di Saluzzo)
- Discarica (Magliano Alpi, Acea Pinerolo, Villafalletto e Cerro Tanaro)
- Incenerimento (TRM di Torino)
- Co-incenerimento (Buzzi Unicem spa di Robilante)

## 8.1 Compostaggio

Sono stati distinti i dati del compostaggio solo aerobico da quelli del compostaggio a valle della digestione anaerobica (Pinerolo, Fossano, Saluzzo).

Per la definizione dei fattori di emissione ai fini del presente piano di monitoraggio, si è assunto a riferimento per il solo trattamento aerobico, l'impianto di compostaggio G.A.I.A. spa di San Damiano d'Asti, di cui sono stati presi in esame i dati di emissione e consumi su più anni (triennio 2015-2017). Con riferimento al periodo considerato, l'impianto era autorizzato a ricevere oltre 24.000 t/a di rifiuti organici trattati (provenienti in forte prevalenza da raccolta differenziata), producendo circa 6.000 t/anno di Ammendante Compostato Misto (compost)<sup>8</sup>.

Il ciclo di trattamento prevede la ricezione e lo stoccaggio dei rifiuti in aree dedicate di caratteristiche idonee. La conduzione della fase di trasformazione accelerata e di quella di maturazione lenta in cumuli (andane) all'interno del capannone, l'affinamento del compost e lo stoccaggio finale sotto tettoia. La fase di trasformazione accelerata avviene per un tempo non inferiore a 20 giorni, in cumuli arieggiati in ambiente chiuso o confinato, con captazione e depurazione delle arie di processo. La durata della fase di maturazione, sommata a quella di bio-ossidazione accelerata, non è mai inferiore a 80 giorni.

L'impianto di compostaggio di San Damiano d'Asti nella sua conformazione di gestione del processo in andane, ha costituito anche il riferimento per le elaborazioni del Piano di gestione rifiuti, per cui il confronto degli indicatori è diretto e significativo.

Attualmente l'impianto, oggetto di autorizzazione integrata ambientale, è in fase di revamping: è prevista la realizzazione di una fase di digestione anaerobica preliminare a cui sottoporre parte del flusso di rifiuti in ingresso e la conduzione del processo di compostaggio in biocelle, con un forte incremento della potenzialità complessiva (48.000 t/a di capacità nominale nell'assetto definitivo).

Da un confronto dei fattori di emissione, si evidenziano in generale valori dello stesso ordine di grandezza dei dati ottenuti in fase di elaborazione del piano.

Valori in aumento delle emissioni finali per la matrice acqua sono riconducibili al trattamento del percolato, per cui si sono stati assunti rendimenti di depurazione "standard", a cui è ragionevolmente riconducibile la discrepanza.

Si evidenzia inoltre un valore di SOT superiore di due ordini di grandezza del valore di piano. In merito si osserva che tale valore è stato cautelativamente calcolato, considerando le misure ottenute negli autocontrolli più elevate nel periodo in esame.

---

<sup>8</sup> dal sito dell'impianto <http://old.gaia.at.it/gestione-rifiuti-compostaggio.aspx?refnID=12&sl=13>

**Tabella 3 - Fattori di emissione per l'impianto di compostaggio**

| PARAMETRO                    | Unità di misura | Compostaggio |
|------------------------------|-----------------|--------------|
| Consumo di carburanti        | t/t             | 3,38E-03     |
| Consumo di acqua             | mc/t            | 3,03E-01     |
| Consumo di energia elettrica | MWh/t           | 9,12E-02     |
| polveri totali               | Kg/t            | 1,33E-02     |
| SOT                          | Kg/t            | 1,18E-01     |
| NH <sub>3</sub>              | Kg/t            | 7,00E-02     |
| H <sub>2</sub> S             | Kg/t            | 1,50E-02     |
| SO <sub>x</sub>              | Kg/t            | 0,00E+00     |
| NO <sub>x</sub>              | Kg/t            | 0,00E+00     |
| HF                           | Kg/t            | 0,00E+00     |
| HCl                          | Kg/t            | 0,00E+00     |
| N <sub>2</sub> O             | Kg/t            | 2,00E-01     |
| PCDD                         | Kg/t            | 0,00E+00     |
| PCB DL                       | Kg/t            | 0,00E+00     |
| Cd                           | Kg/t            | 0,00E+00     |
| Hg                           | Kg/t            | 0,00E+00     |
| Pb                           | Kg/t            | 0,00E+00     |
| IPA                          | Kg/t            | 0,00E+00     |
| CO                           | Kg/t            | 0,00E+00     |
| CO <sub>2</sub>              | Kg/t            | 0,00E+00     |
| CH <sub>4</sub>              | Kg/t            | 1,18E-01     |
| COD <sub>dep</sub>           | Kg/t            | 1,69E-01     |
| N <sub>ammoniacale_dep</sub> | Kg/t            | 1,08E-02     |
| CO <sub>2_energia</sub>      | Kg/t            | 4,46E+01     |
| CO <sub>2_gasolio</sub>      | Kg/t            | 1,07E+01     |
| scarti                       | t/t             | 2,40E-01     |
| compost prodotto             | t/t             | 2,87E-01     |

## 8.2 Trattamento meccanico-biologico

Per quanto riguarda gli impianti di trattamento meccanico biologico dei rifiuti (TMB), i fattori di emissione sono stati ricavati dalle prestazioni impiantistiche ricavabili, per gli anni dal 2015 al 2017, dai Piani di Monitoraggio e Controllo di numerosi stabilimenti regionali. Tali impianti svolgono essenzialmente le seguenti funzioni: compostaggio tradizionale, biostabilizzazione, bioessiccazione e produzione del CSS. A questo proposito si segnala che il fattore di emissione relativo al metano deriva dalle misure con strumento FID effettuate al camino di tali impianti, assumendo cautelativamente che tutti i composti organici volatili determinati in tal modo corrispondano a metano.

Per valutare gli impatti prodotti da tale tecnologia sono stati presi in esame il trattamento meccanico biologico di **bioessicazione** ed in particolare l'impianto A2A di Villafalletto (CN) e il trattamento meccanico biologico di **biostabilizzazione** con l'impianto AMA di Magliano Alpi (CN).

Di seguito si riportano i fattori di emissione ricavati per le due tipologie di impianti di TMB.

**Tabella 4 - Fattori di emissione per il TMB (bioessicazione e biostabilizzazione)**

| PARAMETRO                       | Unità di misura | TMB bioessicazione | TMB biostabilizzazione |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------|
| Consumo di carburanti           | t/t             | 0,00E+00           | 3,27E-04               |
| Consumo di acqua                | mc/t            | 5,97E-02           | 2,53E-01               |
| Consumo di e+++nergia elettrica | MWh/t           | 7,41E-02           | 7,29E-02               |
| polveri totali                  | Kg/t            | 2,16E-03           | 4,86E-02               |
| SOT                             | Kg/t            | 2,06E-01           | 5,50E-01               |
| NH <sub>3</sub>                 | Kg/t            | 1,29E-03           | 4,86E-02               |
| H <sub>2</sub> S                | Kg/t            | 1,10E-03           | 1,30E-02               |
| SO <sub>x</sub>                 | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| NO <sub>x</sub>                 | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| HF                              | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| HCl                             | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| N <sub>2</sub> O                | Kg/t            | 2,00E-01           | 2,00E-01               |
| PCDD                            | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| PCB DL                          | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| Cd                              | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| Hg                              | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| Pb                              | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| IPA                             | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| CO                              | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| CO <sub>2</sub>                 | Kg/t            | 0,00E+00           | 0,00E+00               |
| CH <sub>4</sub>                 | Kg/t            | 2,06E-01           | 5,50E-01               |
| FOS_discarica                   | MWh/t           | 4,50E-01           | 3,20E-01               |
| Frazione_secca                  | MWh/t           | 2,20E-01           | 5,00E-01               |
| CO <sub>2</sub> _energia        | Kg/t            | 3,62E+01           | 3,57E+01               |
| CO <sub>2</sub> _gasolio        | Kg/t            | 0,00E+00           | 1,03E+00               |

### 8.3 Digestione anaerobica

Relativamente agli impianti di digestione anaerobica dei rifiuti, anche in questo caso i fattori sono ricavati dai dati operativi di tre impianti piemontesi, due situati in provincia di Cuneo (San Carlo di Fossano e Galatero di Saluzzo) ed uno in provincia di Torino (Acea di Pinerolo). Il dato di metano è stato ricavato dalle misure a camino, come per gli impianti TMB. Il beneficio in termini di CO<sub>2</sub> evitata per mezzo dell'energia termica cogenerata dai motori a combustione interna, destinata a consumi



di processo interni allo stabilimento (essiccazione plastiche) o al teleriscaldamento, è stata contabilizzata con le seguenti ipotesi:

- rendimento di teleriscaldamento pari all'80%, combustibili sostituiti 30% gasolio e 70% gas naturale;
- essiccazione plastiche con rendimento termico del 90%, combustibile sostituito gas naturale.

**Tabella 5 - Fattori di emissione per la digestione anaerobica**

| PARAMETRO                                   | Unità di misura | Digestione anaerobica |
|---|-----------------|-----------------------|
| Consumo di carburanti                       | t/t             | 9,44E-04              |
| Consumo di acqua                            | mc/t            | 3,66E-01              |
| Consumo di energia elettrica                | MWh/t           | 5,52E-02              |
| polveri totali                              | Kg/t            | 7,04E-03              |
| SOT   | Kg/t            | 8,26E-01              |
| NH <sub>3</sub>                             | Kg/t            | 7,64E-03              |
| H <sub>2</sub> S                            | Kg/t            | 2,28E-02              |
| SO <sub>x</sub>                             | Kg/t            | 6,19E-03              |
| NO <sub>x</sub>                             | Kg/t            | 2,48E-01              |
| HF  | Kg/t            | 7,84E-05              |
| HCl   | Kg/t            | 1,69E-03              |
| N <sub>2</sub> O                            | Kg/t            | 2,00E-01              |
| PCDD  | Kg/t            | 0,00E+00              |
| PCB DL                                      | Kg/t            | 0,00E+00              |
| Cd  | Kg/t            | 0,00E+00              |
| Hg  | Kg/t            | 0,00E+00              |
| Pb  | Kg/t            | 0,00E+00              |
| IPA   | Kg/t            | 0,00E+00              |
| CO  | Kg/t            | 1,98E-01              |
| CO <sub>2</sub>                             | Kg/t            | 0,00E+00              |
| CH <sub>4</sub>                             | Kg/t            | 7,50E-01              |
| COD_dep                                     | Kg/t            | 1,79E+00              |
| N_ammoniacale_dep                           | Kg/t            | 2,32E-01              |
| N_tot_dep                                   | Kg/t            | 2,77E-01              |
| energia_prodotta_elettrica                  | MWh/t           | 1,42E-01              |
| energia_prodotta_termica                    | MWh/t           | 3,82E-02              |
| quantità_biogas_prodotto                    | mc/t            | 6,02E+01              |
| CO <sub>2</sub> _energia_prodotta_elettrica | Kg/t            | -6,93E+01             |
| CO <sub>2</sub> _energia_prodotta_termica   | Kg/t            | -1,02E+01             |
| CO <sub>2</sub> _energia                    | Kg/t            | 2,70E+01              |
| CO <sub>2</sub> _gasolio                    | Kg/t            | 2,98E+00              |

## 8.4 Smaltimento in discarica

In merito alle discariche, si è fatta distinzione tra le discariche per sovvalli (es. Magliano o la vasca recente di Acea) e quelle a bioreattori (Villafalletto e Cerro Tanaro) ma, dopo approfondita discussione, considerate le difficoltà di attribuire correttamente le emissioni complessivamente originate dalla discarica ai quantitativi di rifiuti smaltiti in un singolo anno, si è deciso di utilizzare dei valori bibliografici. Per i dati relativi alle emissioni, sono stati confrontati i dati al motore delle discariche di Cavaglià e di Villafalletto. Per i valori dei percolati, si è convenuto di calcolare le concentrazioni di “COD dep” e “N-NH3 dep”, escludendo i metalli, riferiti al quantitativo prodotto in un anno di riferimento. Infine, per l’aggiornamento dei coefficienti di conversione, si è fatto riferimento ai dati IPPC-GWC.

Per quanto riguarda le emissioni, il primo fattore da definire è quello del potenziale di metanazione del rifiuto smaltito; in base alla composizione merceologica del rifiuto indifferenziato avviato in discarica, il potenziale stechiometrico si aggira intorno a 290 m<sup>3</sup> di biogas per tonnellata di rifiuto, di cui circa il 50% composto da metano. Alcuni studi<sup>9</sup> riportano una produttività pari a 169,4 m<sup>3</sup> di biogas per tonnellata di rifiuto di cui il 50% metano, altri<sup>10</sup> 140 m<sup>3</sup> di metano per tonnellata di rifiuto, altri ancora<sup>11</sup> 138 m<sup>3</sup> di biogas per tonnellata di rifiuto, sempre con metano al 50%. Le efficienze di captazione del biogas generato vanno, sempre secondo la letteratura citata, dal 50 al 75%.

Un ulteriore dato degno di nota è la produzione specifica di percolato, la quale, secondo lo studio riportato al riferimento 8, è pari a 2 m<sup>3</sup>/t di rifiuto.

Alcuni fattori di emissione sono stati ricavati dai dati misurati presso la discarica di ACEA in Pinerolo (TO).

---

<sup>9</sup> Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. Simone Manfredi, Thomas H. Christensen. Waste Management 29 (2009) 32–43.

<sup>10</sup> Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Francesco Cherubini, Silvia Bargigli, Sergio Ulgiati. Energy 34 (2009) 2116–2123.

<sup>11</sup> EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.

**Tabella 6 - Fattori di emissione per la discarica**

| PARAMETRO                                  | Unità di misura | Discarica |
|--|-----------------|-----------|
| Consumo di carburanti                      | t/t             | 1,00E-03  |
| Consumo di energia elettrica               | MWh/t           | 1,87E-02  |
| polveri totali                             | Kg/t            | 4,63E-04  |
| SOT  | Kg/t            | 1,95E-02  |
| NH <sub>3</sub>                            | Kg/t            | 6,92E-04  |
| H <sub>2</sub> S                           | Kg/t            | 5,49E-02  |
| SO <sub>x</sub>                            | Kg/t            | 7,81E-02  |
| NO <sub>x</sub>                            | Kg/t            | 4,29E-02  |
| HF   | Kg/t            | 5,55E-04  |
| HCl  | Kg/t            | 1,88E-02  |
| N <sub>2</sub> O                           | Kg/t            | 3,61E-06  |
| PCDD                                       | Kg/t            | 2,40E-10  |
| Cd   | Kg/t            | 2,40E-09  |
| Hg   | Kg/t            | 1,92E-08  |
| Pb   | Kg/t            | 3,79E-07  |
| IPA  | Kg/t            | 6,92E-08  |
| CO   | Kg/t            | 5,05E-02  |
| CO <sub>2</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00  |
| CH <sub>4</sub>                            | Kg/t            | 1,60E+01  |
| Cd_Tl                                      | Kg/t            | 2,40E-09  |
| Sb_As_altri                                | Kg/t            | 7,16E-07  |
| COD_dep                                    | Kg/t            | 1,37E+00  |
| N_ammoniacale_dep                          | Kg/t            | 4,07E-01  |
| energia_prodotta_elettrica                 | MWh/t           | 1,23E-01  |
| quantità_biogas_prodotto                   | mc/t            | 2,09E+02  |
| CO <sub>2</sub> energia_prodotta_elettrica | Kg/t            | -6,03E+01 |
| CO <sub>2</sub> energia                    | Kg/t            | 9,15E+00  |
| CO <sub>2</sub> gasolio                    | Kg/t            | 3,16E+00  |

## 8.5 Incenerimento

In relazione all'opzione tecnologica dell'incenerimento dei rifiuti, i fattori di emissione sono stati ricavati dai dati misurati al camino dell'**impianto di termodistruzione con recupero energetico TRM di Torino** nell'anno 2016, tranne il dato di SO<sub>2</sub>, che corrisponde, per maggiore conservatività, al dato 2017. Si segnala che l'impianto non fornisce energia termica alla rete di teleriscaldamento ma produce circa 300.000 MWh all'anno (al netto degli autoconsumi).

In tabella si riportano i parametri e i relativi fattori di emissione relativi all'impianto TRM relativi a una tonnellata di rifiuti urbani in ingresso.

**Tabella 7 – Fattori di emissione per l'inceneritore TRM**

| PARAMETRO                                  | Unità di misura | TRM       |
|--|-----------------|-----------|
| Consumo di carburanti                      | t/t             | 6,00E-03  |
| Consumo di acqua                           | mc/t            | 2,35E+00  |
| polveri totali                             | Kg/t            | 2,61E-03  |
| SOT  | Kg/t            | 3,72E-03  |
| NH <sub>3</sub>                            | Kg/t            | 5,50E-03  |
| SOx  | Kg/t            | 5,81E-03  |
| NOx  | Kg/t            | 1,75E-01  |
| HF   | Kg/t            | 2,96E-05  |
| HCl  | Kg/t            | 9,52E-03  |
| N <sub>2</sub> O                           | Kg/t            | 1,44E-02  |
| PCDD                                       | Kg/t            | 8,89E-12  |
| PCB DL                                     | Kg/t            | 3,43E-12  |
| Hg   | Kg/t            | 7,09E-05  |
| IPA  | Kg/t            | 4,17E-08  |
| CO   | Kg/t            | 3,11E-02  |
| CO <sub>2</sub>                            | Kg/t            | 8,72E+02  |
| CH <sub>4</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00  |
| Cd TI                                      | Kg/t            | 9,86E-06  |
| Sb As altri                                | Kg/t            | 4,62E-04  |
| energia prodotta elettrica                 | MWh/t           | 6,36E-01  |
| energia prodotta termica                   | MWh/t           | 0,00E+00  |
| Consumo di energia elettrica               | MWh/t           | 0,00E+00  |
| CO <sub>2</sub> energia                    | Kg/t            | 0,00E+00  |
| CO <sub>2</sub> gasolio                    | Kg/t            | 1,46E+01  |
| CO <sub>2</sub> energia prodotta termica   | Kg/t            | 0,00E+00  |
| CO <sub>2</sub> energia prodotta elettrica | Kg/t            | -3,11E+02 |

Nel caso dell'incenerimento, è importante sottolineare come solo una parte delle emissioni di CO<sub>2</sub> a camino siano effettivamente di origine biologica e pertanto neutrale agli effetti dell'alterazione del clima. La letteratura citata al riferimento 3 riporta un range di valori compreso tra 733 e 917 kg CO<sub>2</sub> di origine fossile per tonnellata di rifiuto solido urbano incenerito. Nelle elaborazioni sviluppate è stato preso a riferimento il dato di 872 kg CO<sub>2</sub>/t RSU<sup>12</sup>. Infine, il dato di emissione di N<sub>2</sub>O, pari a 1,44E-02 kg/t di RSU, è stato ricavato da uno studio europeo del 2003<sup>13</sup>, richiamato dalla letteratura scientifica di settore<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> RAPPORTO DI RICERCA, LCA del sistema integrato dei RSU nella Provincia di Cuneo. G. Genon, G.A. Blengini, 2009.

<sup>13</sup> European Commission, Directorate General Environment, 2003. Refuse Derived Fuels, current practice and perspectives. Final report.

<sup>14</sup> Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. G. Genon, E. Brizio, Waste Manag. 2008 Nov;28(11):2375-85. doi: 10.1016/j.wasman.2007.10.022. Epub 2008 Jan 8.

I dati dei fattori di emissione per quanto riguarda la **tecnologia a letto fluido** non sono stati modificati rispetto a quanto già inserito nel Piano.

## 8.6 Co-incenerimento

Come per l'incenerimento, anche per il co-incenerimento dei rifiuti derivati da RSU in impianti tecnologici come quelli dell'industria cementiera, i fattori di emissione sono ricavati da misure effettuate al camino dei forni da cemento dello stabilimento **BUZZI UNICEM di Robilante** (CN). Costituendo il rifiuto alimentato come combustibile (il cosiddetto CSS, già CDR, derivato da una raffinazione del RSU) una sostituzione in termini di apporto energetico rispetto al combustibile tradizionale, nel caso analizzato il pet-coke, generalmente i fattori di emissione sono stati ricavati in base ai flussi di massa dell'inquinante effettivamente emessi e riproporzionati in base alla sostituzione calorica di cui si è detto (il 30,9% nel 2016, anno di riferimento dei dati originari). Fanno eccezione alcuni parametri a causa della natura del combustibile alternativo rispetto a quello tradizionale, tra i quali:

- l'anidride carbonica  $CO_2$ , 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). Per essere del tutto corretti dal punto di vista metodologico, il fattore di emissione della  $CO_2$  quando si usa rifiuto in co-combustione dovrebbe essere inferiore a zero, in quanto se ne emette una quantità inferiore a quella che deriverebbe in caso di utilizzo di combustibile tradizionale. Nel caso specifico, a causa dell'incertezza sul fattore di emissione di  $CO_2$  fossile dal CSS, si è optato per un fattore emissivo conservativamente pari a zero.
- Per il biossido di zolfo  $SO_2$ , vale lo stesso discorso fatto per la  $CO_2$ , in quanto lo zolfo è presente in concentrazioni molto minori nel CSS rispetto al petcoke. Il fattore di emissione è anche in questo caso posto pari a zero.
- Per gli ossidi di azoto  $NO_x$ , il fattore di emissione legato all'uso di combustibili tradizionali è, sia per motivi termodinamici (fiamma più calda) che per motivi di composizione chimica del combustibile, superiore a quello relativo all'uso di CSS in combustione. La differenza porterebbe ad un fattore di emissione negativo, pari a  $-0,36 \text{ kgNO}_x/\text{t}$  di rifiuto, come riportato dallo studio della Commissione Europea. Cautelativamente si riporta un fattore di emissione pari a zero.
- Per acido cloridrico e cadmio, al contrario, considerato che in questo caso il CSS è più ricco di Cd e di Cl rispetto al petcoke, le emissioni sono state totalmente attribuite alla combustione del rifiuto.

**Tabella 8 – Fattori di emissione per il co-inceneritore BUZZI UNICEM**

| PARAMETRO                                  | Unità di misura | Co-incenerimento |
|--|-----------------|------------------|
| polveri totali                             | Kg/t            | 2,31E-02         |
| SOT  | Kg/t            | 9,58E-02         |
| NH <sub>3</sub>                            | Kg/t            | 5,14E-02         |
| SO <sub>x</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00         |
| NO <sub>x</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00         |
| HF   | Kg/t            | 8,70E-04         |
| HCl  | Kg/t            | 7,36E-02         |
| N <sub>2</sub> O                           | Kg/t            | 1,36E-01         |
| PCDD                                       | Kg/t            | 9,25E-11         |
| PCB DL                                     | Kg/t            | 6,22E-11         |
| Hg   | Kg/t            | 5,72E-05         |
| IPA  | Kg/t            | 5,24E-07         |
| CO   | Kg/t            | 0,00E+00         |
| CO <sub>2</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00         |
| CH <sub>4</sub>                            | Kg/t            | 0,00E+00         |
| Cd TI                                      | Kg/t            | 7,33E-05         |
| Sb As altri                                | Kg/t            | 3,26E-04         |
| CO <sub>2</sub> energia                    | Kg/t            | 0,00E+00         |
| CO <sub>2</sub> gasolio                    | Kg/t            | 0,00E+00         |
| CO <sub>2</sub> energia prodotta termica   | Kg/t            | 0,00E+00         |
| CO <sub>2</sub> energia prodotta elettrica | Kg/t            | 0,00E+00         |

## 9. CONCLUSIONI

I dati così ottenuti sono stati inseriti nel database aggiornato e verranno utilizzati per la stesura del piano di monitoraggio previsto dal Piano Rifiuti regionale.

Sono stati elaborati due scenari, uno con i quantitativi in ingresso agli impianti riferiti all'anno 2016, l'altro con i quantitativi dell'anno 2017.

**Tabella 9 – Scenari reali**

| Scenario | Impianto               | tonn/2016 | tonn/2017 |
|----------|------------------------|-----------|-----------|
| Reale    | compostaggio           | 105.823   | 91.877    |
| Reale    | digestione anaerobica  | 155.438   | 162.853   |
| Reale    | TMB biostabilizzazione | 234.928   | 211.910   |
| Reale    | TMB bioessiccazione    | 111.562   | 135.417   |
| Reale    | incenerimento          | 381.686   | 505.862   |
| Reale    | medio letto fluido     | 14.333    | 13.204    |
| Reale    | coincenerimento        | 41.894    | 58.292    |
| Reale    | discarica              | 308.281   | 195.242   |
| Reale    | produzione CSS         | 11.434    | 14.485    |

## **REDAZIONE**

---

Enrico Brizio

Simona Caddeo

Alessandra Laccisaglia

con la collaborazione della Commissione “Revisione Modello Valutativo Scenari di Piano” (Renzo Barberis, Enrico Brizio, Simona Caddeo, Daniela Cescon, Elena Foddanu, Marco Ghisolfo, Alessandra Laccisaglia, Massimo Moretto, Francesca Valenzano)

## **VERIFICA ED APPROVAZIONE**

---

Fulvio Raviola