REGIONE LIGURIA

Bilancio di CO2 e delle principali emissioni climalteranti ed inquinanti delle opzioni di chiusura del ciclo rifiuti a livello locale con impianto di valorizzazione flussi in uscita dagli impianti di trattamento meccanico biologico liguri

ALLEGATO 1 al RAPPORTO AMBIENTALE

FINALIZZATO ALLA FASE DI VAS ai sensi dell'art. 13, c.5, del D.Lgs. 152/2006 e art. 9, c.1, e 10, c.1 della L.r. 32/2012

per l'aggiornamento del Piano di Gestione dei Rifiuti e delle Bonifiche di cui alla D.C.R. 14/2015

Dipartimento Ambiente e Protezione Civile

10 Dicembre 2021

Indice

1. PREMESSA 3

2. L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI DELLA REGIONE LIGURIA 5

2.1 Metodologia 5

2.2 Inquinanti 6

2.3 Nomenclatura delle attività e dei combustibili 7

2.4 Classificazione delle sorgenti di inquinamento 7

2.5 Procedura per la stima delle emissioni delle differenti sorgenti 9

2.6 Emissioni in CO2 equivalenti 11

3. CALCOLO DELLE EMISSIONI DA SMALTIMENTO DEI RIFIUTI SOLIDI 12

3.1 Metodi di contabilizzazione 12

3.2 Modello IPCC (first order of decay) 13

3.3 Metodo methane commitment 15

4. RIEPILOGO DELLE EMISSIONI ALLO STATO ATTUALE 17

4.1 Emissioni dalle discariche di rifiuti 17
4.1.1 Le emissioni dell'inventario regionale 17
4.1.2 Sensitività del modello alla variazione della composizione del rifiuto 19

4.2 Emissioni dal trasporto sul sito di smaltimento 20

5. EMISSIONI NELLE IPOTESI PROGETTUALI 21

5.1 Scenari di potenziale produzione 21

5.2 Valutazione delle emissioni future con attuale configurazione impiantistica 22

5.3 Valutazione delle emissioni evitate dal mancato trasferimento in discarica del rifiuto avviato ad altre soluzioni tecnologiche 23
5.3.1 Valutazione delle emissioni da una soluzione di termovalorizzazione 23
5.3.2 Valutazione preliminare delle emissioni da una soluzione waste to chemicals 24

5.4 Valutazione delle emissioni dal trasporto dei rifiuti nei siti di smaltimento 26

5.5 Confronto finale in termini emissivi (CO2 equivalente e di inquinanti dell'aria) tra le soluzioni analizzate 27

1. PREMESSA

Parallelamente all'elaborazione della proposta di aggiornamento del Piano regionale di gestione dei rifiuti e delle bonifiche, Regione Liguria, fin dalle prime fasi, ha lavorato per approfondire le valutazioni circa le strategie ottimali, dal punto di vista ambientale, economico e sociale, da perseguire per far compiere un ulteriore passo in avanti al sistema gestionale dei rifiuti, nell'ottica di raggiungere e superare gli obiettivi di livello comunitario e nazionale fatti propri.

Considerato l'elevato livello di approfondimento e valutazione ambientale che era già stato raggiunto nel percorso che aveva portato a definire le scelte che hanno delineato l'assetto impiantistico atto a soddisfare localmente i fabbisogni di trattamento e recupero per la frazione indifferenziata e la FORSU, a seguito di un percorso di VAS che aveva accompagnato sia la pianificazione regionale 2015 che la pianificazione d'ambito 2018, restava ora prioritario focalizzerà le valutazioni in particolare sull'individuare soluzioni di maggior respiro per i materiali recuperabili anche dopo idoneo trattamento meccanico-biologico (TMB) sull'indifferenziato residuo, in termini di *waste to energy* o *waste to chemicals*, considerando tale percorso l'unica via per arrivare a raggiungere gli obiettivi comunitari, nazionali e regionali di minimizzazione del ricorso alla discarica.

La previsione cui inevitabilmente si arriva, fatte salve eventuali soluzioni sovraordinate a livello di macroarea che consentano di ottenere ulteriori economie di scala ed eventuali maggiori vantaggi ambientali, circa la necessità di una soluzione impiantistica a servizio dell'intero ambito regionale per l'ottimale valorizzazione di flussi quali il combustibile solido secondario (CSS) derivante in particolare dal sovvallo secco in uscita dagli impianti di pretrattamento del rifiuto indifferenziato e gli scarti idonei provenienti dalle operazioni di recupero delle raccolte differenziate è l'unica che garantirebbe lo scopo di chiudere compiutamente il ciclo a livello locale nel rispetto del principio di prossimità, garantendone sostenibilità ambientale ed economica complessiva ed indipendenza rispetto ad eventi, decisioni ed impianti extra ambito regionale.

A prescindere dalle quantità totali in gioco, che peraltro dipendono anche dalla definitiva scelta circa la soluzione tecnologica ottimale, è stato chiaro fin da subito che negli approfondimenti da ricomprendere nel rapporto ambientale, in particolare in riferimento alla valutazione delle alternative, e nel percorso decisionale del piano verso la scelta definitiva, assume particolare rilievo la comparazione del bilancio di CO_2 e delle principali emissioni climalteranti ed inquinanti ipotizzabili, tra le differenti opzioni principali:

- opzione zero: smaltimento dei flussi di rifiuti indifferenziati trattati, oltre che di quote non altrimenti valorizzabili derivanti dal trattamento a recupero della raccolta differenziata, in discariche liguri a seguito della concretizzazione totale dell'assetto complessivo prefigurato dal PGR 2015 e dal Piano d'Ambito 2018;
- recupero energetico e di calore dai flussi compatibili da conferire ad un impianto di termovalorizzazione d'ambito per minimizzare come da gerarchia dei rifiuti lo smaltimento in discarica (e peraltro in tale prospettiva diventerebbe percorribile anche una opzione che non prevedrebbe necessità di pretrattamento, con conseguenti risparmi energetici e prevenzione degli impatti del TMB, con vantaggi ambientali ed economici da considerare nel computo complessivo);
- riciclo chimico dei flussi compatibili in un impianto di produzione di idrogeno/metanolo/etanolo da tali rifiuti da realizzarsi in funzione d'ambito regionale (cosiddetta soluzione "WTC – waste to chemicals").

Il Dipartimento Ambiente e Protezione Civile, alla luce dei primi approfondimenti svolti ed anche in esito alla conclusione della fase di confronto con i soggetti competenti in materia ambientale finalizzata a definire la portata ed il livello di dettaglio dei contenuti del Rapporto ambientale, c.d. scoping VAS, nell'ambito dell'aggiornamento del Piano di Gestione dei Rifiuti e delle Bonifiche di cui alla D.C.R. 14/2015, ha considerato necessario e fondamentale provvedere ad integrare le valutazioni in corso, da ricomprendere nel rapporto ambientale, realizzando un bilancio delle emissioni di CO2 e delle principali emissioni climalteranti ed inquinanti ipotizzabili delle sopra citate opzioni impiantistiche alternative percorribili per la valorizzazione a livello locale di flussi in uscita dagli impianti liguri di trattamento meccanico-biologico (e di eventuali matrici residuali compatibili derivanti dal recupero delle frazioni differenziate).

A tale scopo è stato formalizzato un apposito incarico a società specializzata che aveva già collaborato con Regione nell'ambito dell'aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni in atmosfera, implementando i modelli per la gestione dei dati e la stima delle emissioni in atmosfera degli inquinanti e il sistema per la reportistica dei dati, a sua volta in continuità con quanto realizzato dalla medesima società per l'inventario delle emissioni di inquinanti.

Il presente allegato riporta pertanto gli esiti dello studio commissionato, ed in particolare:

- introduzione all'inventario regionale delle emissioni con particolare riferimento alle metodologie funzionali alla valutazione delle soluzioni di cui sopra (le emissioni dell'inventario regionale sono state stimate tramite il Software E2GOV - sistema di governo dell'ambiente e dell'energia)
- riepilogo delle emissioni allo stato attuale ed in particolare:
    - estrazione da E2Gov dei dati relativi alla valutazione delle emissioni di CH_4 dalle discariche di rifiuti presenti in regione e loro trasformazione in CO_2 equivalente utilizzando il Potenziale di Riscaldamento Globale standard IPCC; successiva elaborazione per la determinazione di un fattore di emissione medio regionale allo stato attuale;
    - valutazione sulla base della metodologia utilizzata in E2Gov di fattori di emissione medi per il trasporto su strada dei rifiuti;
- valutazione delle emissioni di CO_2 equivalente evitate dal mancato trasferimento in discarica dei quantitativi di rifiuti oggetto delle differenti soluzioni tecnologiche;
- valutazione di massima delle emissioni di CO_2 equivalente e di inquinanti dell'aria di una soluzione di termovalorizzazione (del tal quale);
- valutazione delle emissioni di CO_2 equivalente e di inquinanti dell'aria generate per autoprodurre energia elettrica e termica mediante ciclo combinato a gas per il funzionamento del nuovo impianto previsto (*waste to chemicals*) e delle emissioni risparmiate dalla produzione di metanolo da fonte fossile;
- valutazione di massima delle emissioni di CO_2 equivalente e di inquinanti dell'aria eventualmente evitate dal mancato trasporto dei flussi in uscita dagli impianti fuori regione;
- confronto finale in termini emissivi (CO_2 equivalente e di inquinanti dell'aria) tra le soluzioni analizzate.

2. L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI DELLA REGIONE LIGURIA

Regione Liguria si è dotata nel corso degli anni, come brevemente riassunto nel seguito, di un completo ed aggiornato inventario delle emissioni degli inquinanti dell'aria e di un sistema informativo regionale per la sua gestione. Nel seguito sono riassunte le caratteristiche di questo inventario relativamente alle informazioni e metodologie funzionali al lavoro di cui all'oggetto.

2.1 Metodologia

Per *inventario delle emissioni* si intende una serie organizzata di dati relativi alle quantità di inquinanti introdotti nell'atmosfera da sorgenti naturali e/o da attività antropiche.

L'inventario delle emissioni costituisce uno degli strumenti principali per lo studio dello stato attuale di qualità dell'aria, nonché per la definizione dei relativi Piani di tutela e risanamento.

Un inventario delle emissioni è una raccolta coerente di dati sulle emissioni dei singoli inquinanti raggruppati per:

- attività economica;
- intervallo temporale (anno, mese, giorno, ecc.);
- unità territoriale (regione, provincia, comune, maglie quadrate di 1 km^2, ecc.);
- combustibile (per i soli processi di combustione).

Le quantità di inquinanti emesse dalle diverse sorgenti della zona in esame si possono ottenere:

- tramite misure dirette, campionarie o continue;
- tramite stima.

La misura diretta delle emissioni può essere effettuata, ove è possibile, solo per alcuni impianti industriali, di solito schematizzati come sorgenti puntuali. Tra questi, solo per alcuni è attuata la misura in continuo. Per tutte le altre sorgenti, denominate sorgenti diffuse (piccole industrie, impianti di riscaldamento, sorgenti mobili, ecc.), si deve ricorrere a stime.

Le emissioni sono stimate a partire da dati quantitativi sull'attività presa in considerazione e da opportuni fattori di emissione. Si ottiene:

$$E = A \times F$$

dove:

E sono le emissioni;

A è l'attività (per esempio per gli impianti termici i consumi di combustibili);

F è il fattore di emissione per unità di attività espresso in grammi per unità di attività (ad esempio nel caso dei consumi di combustibili in grammi per gigajoule).

Tale approccio del tutto generale è applicato, a seconda delle attività prese in considerazione, esplicitando le metodologie per la determinazione dell'attività e la scelta degli opportuni fattori di emissione. Questi ultimi possono essere semplici fattori moltiplicativi o tenere conto, in forma funzionale, dei differenti parametri costruttivi ed operativi degli impianti, dei macchinari e dei processi.

2.2 Inquinanti

Gli inquinanti presi in considerazione dall'inventario regionale delle emissioni sono i seguenti:

- principali inquinanti dell'aria:
  - ossidi di zolfo (SO_2+SO_3);
  - ossidi di azoto (NO+NO_2);
  - composti organici volatili, con l'esclusione del metano, (COVNM);
  - monossido di carbonio (CO);
  - particelle sospese totali (PST);
  - particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron (PM_{10});
  - particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 micron ($PM_{2,5}$);
  - ammoniaca (NH_3);
  - benzene (C_6H_6).
- metalli pesanti:
  - Arsenico;
  - Cadmio;
  - Nichel;
  - Piombo;
  - Cromo;
  - Mercurio;
  - Rame;
  - Selenio;
  - Zinco.
- principali idrocarburi policiclici aromatici (PAHs):
  - benzo[b]fluorantene (BBF);
  - benzo[k]fluorantene (BKF);
  - benzo[a]pirene (BAP);
  - indeno[123cd]pirene (INP).
- altri microinquinanti
  - esaclorobenzene (HCB);
  - policlorobifenili (PCB);
  - diossine e furani (PCCD, PCCF);
  - black carbon (BC).
- gas serra:
  - anidride carbonica (CO_2);
  - metano (CH_4);
  - protossido di azoto (N_2O).

Sono state inoltre registrate le emissioni di eventuali altri inquinanti documentati dalle aziende nell'ambito degli adempimenti autorizzativi.

2.3 Nomenclatura delle attività e dei combustibili

La nomenclatura delle attività rilevanti per la valutazione delle emissioni di inquinanti dell'aria, prende come punto di partenza la classificazione delle attività per l'inventario delle emissioni atmosferiche come storicamente si è andata sviluppando a livello internazionale con la cosiddetta classificazione SNAP e, a livello nazionale, nella legislazione di settore. In particolare la classificazione internazionale è stata originariamente recepita a livello nazionale dall'Appendice A dell'Allegato tecnico al Decreto del Ministero dell'Ambiente 20 maggio 1991, concernente i criteri per l'elaborazione dei piani regionali per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria. Tale classificazione è stata successivamente confermata nell'Allegato 2 (Criteri per la redazione di inventari delle emissioni) al decreto 1 ottobre 2002, n. 261 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351). Il Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" nell'Appendice V "Criteri per l'elaborazione degli inventari delle emissioni" fa esplicito riferimento al "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook". Quest'ultimo fa riferimento sia alla classificazione NFR finalizzata al reporting delle emissioni nazionali che alla SNAP come recentemente aggiornata mediante la nuova SNAP 2007.

La classificazione in uso nell'inventario della Regione Liguria nel presente lavoro è stata rivista al fine di renderla coerente con l'attività di aggiornamento dei fattori di emissione e delle nuove metodologie di stima.

La nuova classificazione mantiene la sua coerenza, pur nel suo maggior dettaglio, con la classificazione internazionale SNAP 2007 ed anche con la classificazione adottata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) per l'inventario nazionale delle emissioni.

2.4 Classificazione delle sorgenti di inquinamento

Le emissioni di inquinanti dell'aria sono strutturate dal punto di vista logico assegnandole alle seguenti classi di topologie: puntuale, lineare, areale, statistica.

Dal punto di vista della gestione dei dati è compiuta una generalizzazione e semplificazione che unifica le strutture dei dati atte a contenere le informazioni relative agli oggetti non statistici (punti, linee, aree).

Nel seguito queste entità sono dette Strutture (o sorgenti).

Per la realizzazione dell'inventario sono introdotti una serie di criteri per la selezione tra le strutture di quelle sorgenti da caratterizzare singolarmente al fine della stima delle emissioni.

Ogni struttura è suddivisa in unità. Un apposito indicatore assegna le unità delle strutture alle differenti topologie (punti, linee, aree). Ad esempio una struttura quale una centrale termoelettrica a carbone può contenere unità puntuali (le sezioni della centrale) ed areali (il carbonile); una struttura autostradale conterrà differenti unità lineari (le tratte casello-casello).

Per **strutture (o sorgenti) puntuali** si intendono tutte le sorgenti di emissione che è possibile ed utile localizzare direttamente, tramite le loro coordinate geografiche, sul territorio.

In linea di principio, una volta escluse le attività mobili e quelle attività che per definizione o caratteristica intrinseca sono casualmente distribuite sul territorio (ad esempio l'utilizzo di prodotti domestici), tutte le altre attività possono essere caratterizzate localizzando precisamente le sorgenti di emissione. In questo senso è localizzabile, ad esempio, ogni singolo impianto per riscaldamento domestico o ogni stazione di servizio.

Tuttavia la loro effettiva localizzazione e la conseguente quantificazione delle rispettive emissioni per singola sorgente, risponde a criteri di completezza dell'inventario e di economicità nella sua realizzazione e deve tenere conto dell'impatto locale (in termini di qualità dell'aria) delle emissioni.

Va notato, inoltre, come in alcuni casi possa essere utile localizzare (all'interno di una stessa attività) soltanto le sorgenti principali e considerare come distribuite le altre; tale procedimento può essere adoperato, ad esempio, per la combustione nel settore terziario, all'interno del quale è utile localizzare soltanto i principali impianti e trattare gli altri in modo aggregato.

Per la selezione delle sorgenti puntuali rilevanti sono state individuate le seguenti soglie minime di inquinanti emessi:

- anidride carbonica, 5.000 t/anno;
- monossido di carbonio, 50 t/anno;
- inquinanti principali e gas serra (con l'eccezione di monossido di carbonio e anidride carbonica), 5 t/anno;
- metalli pesanti, benzene, IPA, microinquinanti 50 kg/anno.

Le soglie proposte sono state ampiamente validate sia a livello internazionale che a livello nazionale nell'applicazione della modellistica di diffusione degli inquinanti.

Ai fini dello studio dei fenomeni di trasporto e diffusione degli inquinanti sono di interesse, oltre la quantità emessa e le coordinate del luogo di emissione, l'altezza del punto di emissione e le caratteristiche dinamiche dell'emissione (portata dei fumi, velocità di efflusso, temperatura dei fumi).

Con il termine **strutture (o sorgenti) lineari** sono indicate le principali arterie (strade, linee fluviali, linee ferroviarie). Per tali arterie la stima delle emissioni è effettuata singolarmente localizzandole precisamente sul territorio tramite le loro coordinate metriche Gauss-Boaga conformi alla CTR. Ove utile alla caratterizzazione delle emissioni, le arterie sono suddivise in tratti. Le arterie minori sono invece trattate in modo distribuito.

Le **strutture (o sorgenti) areali** sono quelle sorgenti che emettono su un'area ben definita del territorio (porti, aeroporti, depositi di materiale pulvirulento, discariche, ecc.). Per tali strutture la stima delle emissioni viene effettuata singolarmente localizzandole precisamente sul territorio, georeferenziando l'area dove le emissioni sono generate.

Infine, per **sorgenti diffuse** si intendono tutte quelle sorgenti non incluse nelle classi precedenti e che necessitano, per la stima delle emissioni, di un trattamento statistico. In particolare rientrano in questa classe sia le emissioni di origine puntiforme che, per livello dell'emissione non rientrano nelle sorgenti localizzate o puntuali, sia le emissioni effettivamente di tipo areale (ad esempio le foreste) o ubique (ad esempio traffico diffuso, uso di solventi domestici, ecc.).

2.5 Procedura per la stima delle emissioni delle differenti sorgenti

In Figura 1 è riportata una sintesi della procedura che è seguita per la stima delle emissioni delle differenti sorgenti, anche con riferimento alla definizione delle entità previste nel sistema (strutture ed unità statistiche).

Le emissioni da attività diffuse, nei casi più semplici, sono stimate a partire da indicatori statistici dell'attività e da opportuni fattori di emissione. La zona statistica di base scelta per la stima delle emissioni è il comune.

Si ottiene:

$$E_{ijk} = A_{ij} \times F_{jk}$$

dove:

- E_{ijk} sono le emissioni dell'inquinante k dalla attività j nella zona statistica (comune) i;
- A_{ij} è l'attività j nella zona statistica (comune) i (per esempio, per gli impianti termici, i consumi di combustibili);
- F_{jk} è il fattore di emissione dell'inquinante k dalla attività j, per unità di attività espresso in grammi per unità di attività (ad esempio nel caso dei consumi di combustibili in grammi per gigajoule).

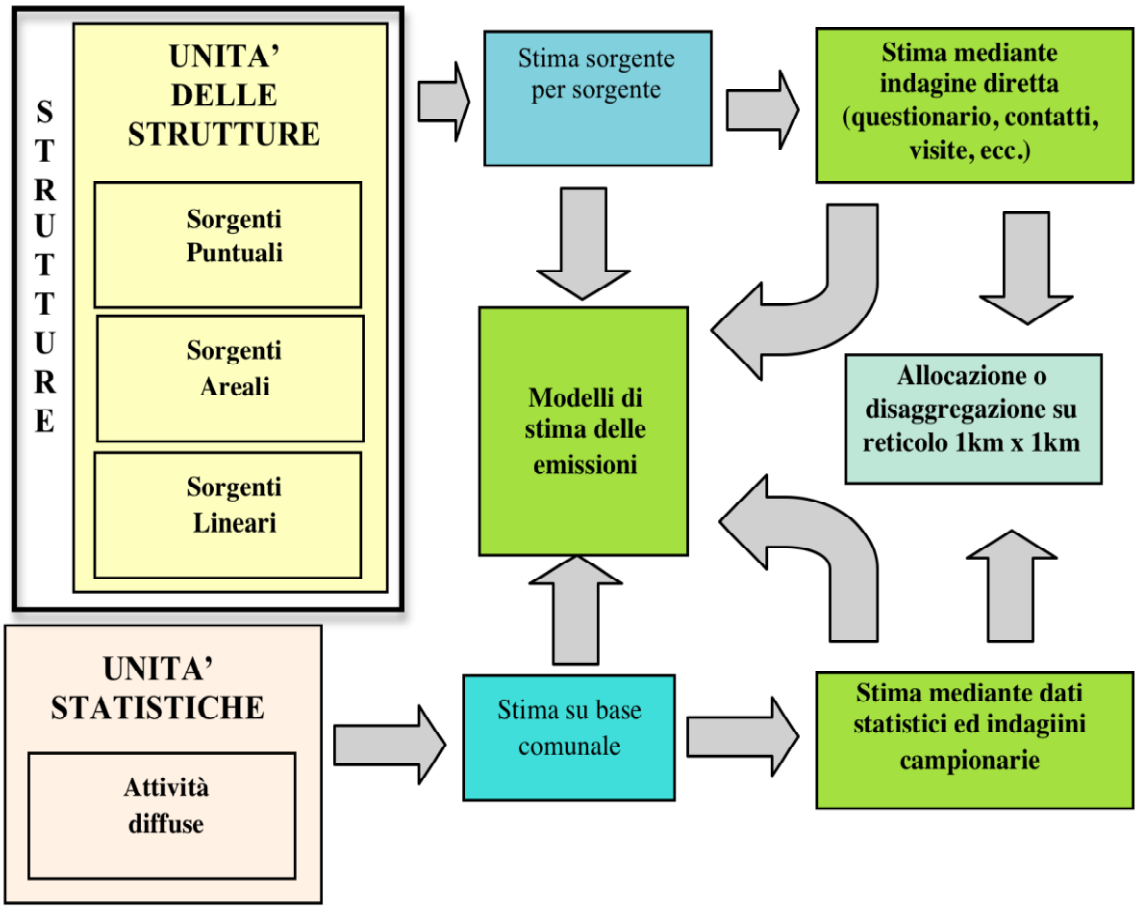


Figura 1 – Schema operativo per la stima delle emissioni

Come detto l'inventario delle emissioni è realizzato a livello comunale: le sorgenti diffuse sono valutate a livello comunale dai dati statistici comunali o a partire da dati statistici regionali o provinciali. Dove il dato non è disponibile a scala comunale ma si è reperito solo un dato regionale o provinciale si provvede a stimare il dato sul comune mediante l'utilizzo della metodologia delle variabili proxy o surrogati.

L'utilizzo dei surrogati è inteso a fornire una stima di una variabile a un certo livello di disaggregazione territoriale quando sia nota per unità territoriali più grandi. In questo caso si attribuisce alla variabile la stessa distribuzione territoriale di un'altra grandezza (detto surrogato), nota a livello inferiore (comune), e che si valuta sia ben correlata alla attività sconosciuta a livello di comune ma nota a livello di provincia o regione.

In questo caso, indicato con i il comune, con t il valore provinciale o regionale, con V la variabile di interesse e con S il surrogato si ottiene il valore della variabile nel comune i come:

$$V_i = V_t \times \frac{S_i}{S_t}$$

Per le emissioni diffuse, le emissioni lineari e quelle areali, nei casi più complessi sono stati utilizzati modelli di stima (realizzati dalla Techne Consulting sulla base di metodologie validate a livello internazionale).

In particolare sono adottati i modelli di stima nei seguenti casi:

- emissioni da traffico stradale: per la stima delle emissioni da traffico stradale (lineari e diffuse) è utilizzato il modello **Road**;
- emissioni da navi: per la stima delle emissioni da movimentazione e stazionamento delle navi in porto e dalle navi in navigazione sulle rotte interne alla regione è utilizzato il modello **Ships**;
- emissioni da decollo ed atterraggio aeromobili: per la stima delle emissioni da decollo ed atterraggio degli aeromobili è utilizzato il modello **Airport**;
- emissioni da vegetazione: per la stima delle emissioni (diffuse) da vegetazione è utilizzato il modello **Forest**;
- emissioni da incendi forestali: per la stima delle emissioni (diffuse) da incendi forestali è utilizzato il modello **Fire**.

Per le strutture (escluse le strutture legati ai trasporti), la selezione originaria delle strutture significative, e l'aggiornamento periodico della lista delle sorgenti stesse, è effettuata tramite le seguenti attività:

- nel caso di strutture puntuali, valutazione preliminare delle emissioni per singolo punto di emissione, come specificato nel seguito;
- nel caso di strutture puntuali, calcolo delle emissioni per l'intero impianto come somma delle emissioni di tutti i punti di emissione;
- valutazione se per l'intero impianto le emissioni totali supera le soglie prefissate e se gli impianti sono considerati come sorgenti puntuali.

Le emissioni dalle strutture (escluse le strutture legati ai trasporti) sono valutate

- utilizzando i valori dichiarati dalle aziende dove questi sono presenti nella documentazione della attività di controllo degli impianti soggetti ad autorizzazione integrata ambientale (AIA) o negli appositi questionari o richieste dati inviati alle aziende;
- utilizzando valori di concentrazione ai punti di emissione e dati relativi ai fumi prodotti quando dichiarati dalle aziende;
- utilizzando fattori di emissione dove non disponibili dati aziendali.

I risultati ottenuti dalle differenti metodologie sono quindi confrontati al fine di ottenere stime il più possibile attendibili.

I dati reperiti per le strutture (escluse le strutture legati ai trasporti), sono validati con riferimento in particolare:

- alla verifica delle emissioni dichiarate raffrontate a quelle ottenute con l'utilizzo di fattori di emissione standard;

- nel caso di strutture puntuali, alla verifica delle emissioni dichiarate raffrontate a quelle ottenute sommando le emissioni calcolate per ogni singolo punto di emissione (la stima delle emissioni per singolo punto di emissione è ottenuta secondo la metodologia specificata più avanti).

Nei casi particolari di attività che prevedono il rilascio degli inquinanti come emissioni diffuse e non solamente come emissioni convogliate nei punti di emissione (come per le emissioni di COV - Composti Organici Volatili - nei processi di verniciatura industriale), il calcolo delle emissioni totali degli inquinanti è effettuato tenendo in considerazione le quantità dichiarate di materie prime utilizzate nell'impianto (prodotti vernicianti e solventi), la loro percentuale nella composizione di composti organici volatili ed i sistemi di abbattimento specifici adottati. Analoga procedura è stata seguita per le emissioni areali (ad esempio depositi di combustibili, discariche, aree di stoccaggio).

Per tutte le aziende inoltre, a completamento delle informazioni contenute nel questionario, è effettuato il computo delle emissioni di inquinanti non dichiarati dalle aziende ma di cui sia nota la presenza, e di cui il relativo valore è calcolato tramite l'utilizzo di appositi fattori di emissione standard.

2.6 Emissioni in CO2 equivalenti

Le emissioni di gas serra diversi dalla CO_2 possono essere convertite in equivalenti di CO_2 utilizzando i valori del potenziale di riscaldamento globale (GWP).

Ad esempio, un kg di CH_4 ha un impatto sul riscaldamento globale pari a 21 kg di CO_2, se considerato in un intervallo di tempo di 100 anni, e quindi il valore GWP di CH_4 è 21.

Per la conversione, in genere, come fatto ad esempio nel contesto del Patto dei Sindaci, sono applicati i valori GWP utilizzati nella rendicontazione all'UNFCCC e al Protocollo di Kyoto.

Questi valori GWP si basano sul secondo rapporto di valutazione dell'IPCC[1] (IPCC, 1995) e sono presentati nella Tabella 1.

Massa dei GHG come t di composto	Massa di GHG as t CO_2-equivalente
1 t CO_2	1 t CO_2-eq
1 t CH_4	21 t CO_2-eq
1 t N_2O	310 t CO2-eq

Tabella 1 - Conversione di CH_4 e N_2O in unità CO_2 equivalenti

[1] IPCC, 1995. Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callender, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and K Maskell (Eds). Cambridge University Press, UK. pp 572.

3. Calcolo delle emissioni da smaltimento dei rifiuti solidi

Il trattamento e lo smaltimento di rifiuti urbani, industriali e altri rifiuti solidi producono quantità significative di metano (CH_4).

Oltre al CH_4, i siti di smaltimento dei rifiuti solidi (SWDS) producono anche anidride carbonica biogenica (CO_2) e composti organici volatili non metanici (COVNM).

La decomposizione del materiale organico derivato da fonti di biomassa (ad es. umido, verde, legno) è la fonte primaria di CO_2 emessa dai rifiuti.

Queste emissioni di CO_2 non sono incluse nelle stime dell'inventario, in quanto il carbonio è di origine biogenica e le emissioni nette sono contabilizzate nel settore "agricoltura, selvicoltura e altri usi del suolo".

3.1 Metodi di contabilizzazione

Le emissioni di metano dalle discariche perdurano per diversi decenni (o talvolta anche secoli) dopo lo smaltimento dei rifiuti.

I rifiuti smaltiti in un determinato anno contribuiscono quindi alle emissioni di gas serra in quell'anno e negli anni successivi. Allo stesso modo, le emissioni di metano rilasciate da una discarica in un dato anno includono le emissioni da rifiuti smaltiti quell'anno, nonché dai rifiuti smaltiti negli anni precedenti.

Nel seguito è preso in considerazione per la valutazione delle emissioni, il Greenhouse Gas Protocol[2] che fornisce due metodi comunemente accettabili per stimare le emissioni di metano dallo smaltimento dei rifiuti solidi: first order of decay (FOD) e methane commitment (MC).

Il primo metodo (first order of decay) assegna le emissioni delle discariche in base alle emissioni di quell'anno; in particolare conteggia i gas serra effettivamente emessi quell'anno, indipendentemente da quando i rifiuti sono stati smaltiti. Il metodo presuppone che la componente organica degradabile nei rifiuti decada lentamente nell'arco di pochi decenni. Il metodo è implementato nella metodologia IPCC standard per la realizzazione degli inventari delle emissioni.

Il secondo metodo (methane commitment) adotta un approccio basato sul ciclo di vita e sul bilancio di massa e calcola le emissioni delle discariche in base alla quantità di rifiuti smaltiti in un determinato anno, indipendentemente da quando si verificano effettivamente le emissioni (una parte delle emissioni viene rilasciata ogni anno dopo lo smaltimento dei rifiuti). Per la maggior parte delle città, il metodo methane commitment sovrastimerà costantemente le emissioni effettive di gas serra assumendo che tutta la componente organica degradabile smaltita in un dato anno decadrà e produrrà metano immediatamente. Tuttavia il metodo fornisce un indicazione delle emissioni globalmente emesse da quella quantità di rifiuti nel tempo.

[2] Greenhouse Gas Protocol, Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC), An Accounting and Reporting Standard for Cities come indicato da Convenant of Major, How To Develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook Part 2

3.2 Modello IPCC (first order of decay)

Per la stima delle emissioni da discariche di rifiuti nell'inventario regionale delle emissioni è utilizzato il modello ***Landfill*** *della società incaricata*.

Il modello fornisce la stima delle emissioni di metano ed altri inquinanti prodotte dalla degradazione dei rifiuti in discarica. Il modello utilizza la metodologia IPCC[3].

Il metano è generato come risultato della degradazione del materiale organico in condizioni anaerobiche. Una parte del metano generato è ossidato nella copertura della discarica, o può essere recuperato per energia o bruciato in torcia. Il metano effettivamente emesso può essere quindi più piccolo della quantità generata.

Il modello ***Landfill*** assume che la discarica si trovi in condizioni anaerobiche, sia correttamente gestita e con rifiuti diretti a specifiche aree della discarica, con un certo grado di controllo del rovistio dei rifiuti e prevenzione di incendi, e che venga utilizzata almeno una delle seguenti procedure: deposizione di materiale di copertura, compattazione meccanica, o livellamento dei rifiuti.

Le emissioni di metano in un dato anno i sono dunque calcolate come differenza tra il metano generato e quello recuperato:

$$E_i = (G_i - R_i)$$

dove G è il metano generato, R è la quantità recuperata.

La metodologia IPCC per la stima del metano generato dalle discariche di rifiuti è basata sul metodo First Order of Decay, che come sopra anticipato presuppone che la componente organica degradabile (carbonio organico degradabile, COD) nei rifiuti decada lentamente per alcuni decenni, durante i quali si formano metano ed anidride carbonica. Se le condizioni sono costanti, il tasso di produzione di metano dipende unicamente dalla quantità di carbonio contenuto nei rifiuti. Di conseguenza, le emissioni di metano dai rifiuti depositati in un sito di smaltimento sono più elevate nei primi anni dopo la deposizione, quindi diminuiscono gradualmente poiché il carbonio degradabile nei rifiuti viene consumato dai batteri responsabili del decadimento. Il decadimento avviene in periodi molto lunghi e l'IPCC raccomanda di raccogliere i dati per un lungo periodo di tempo (almeno 50 anni).

Dal punto di vista pratico della realizzazione di un inventario territoriale complessivo questo significa che:

- vanno inserite nell'inventario tutte le discariche "attive" sul territorio ovvero sia le discariche in attività che quelle chiuse (potenzialmente tutte le discariche utilizzate fino ad oltre 50 anni), computandone le emissioni;
- la stima delle emissioni va portata avanti anno per anno, aggiornando i dati per le discariche attive;
- va registrata la quantità di metano recuperata o bruciata in torcia.

Il calcolo prende le mosse dalla valutazione del carbonio organico degradabile (C) ovvero del carbonio organico presente nei rifiuti che è disponibile per la decomposizione biochimica.

Il carbonio organico degradabile della massa dei rifiuti è stimato in base alla composizione dei rifiuti stessi ed è calcolato a partire dalla media ponderata del contenuto di carbonio degradabile dei vari componenti dei rifiuti i come:

[3] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste e 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste

$$C = \sum_i C_i \times W_i$$

dove C_i è il carbonio organico degradabile della componente i dei rifiuti presente per una frazione W_i nella massa totale dei rifiuti in discarica.

Il modello richiede in ingresso la quantità di rifiuti solidi urbani depositati, anno per anno, in discarica e la frazione dei seguenti tipi di rifiuto: Organico, Verde, Carta, Legno, Tessili, Pannolini ed Inerti. Il modello richiede inoltre la quantità di rifiuti industriali e fanghi depositati. È dunque necessario fornire sia la quantità di rifiuto in discarica che, per gli urbani, la percentuale delle differenti componenti che può variare di anno in anno in virtù della raccolta differenziata e dunque del variare della composizione dell'indifferenziato.

Il modello contiene valori di default per il carbonio organico degradabile delle differenti componenti definiti dalle Guideliness IPCC e sulla base dei dati forniti in ingresso calcola il carbonio organico decomponibile nei rifiuti depositati in un dato anno.

La frazione del carbonio decomponibile (C^D) è posta pari a 0,5 in quanto parte del carbonio organico degradabile non si degrada o si degrada molto lentamente, in condizioni anaerobiche nella discarica per cui:

$$C^D = C \times 0{,}5$$

La quantità di carbonio lisciviata dai rifiuti non è considerata nella stima poiché generalmente le quantità perse con il percolato sono inferiori all'1% e possono essere trascurate nei calcoli.

A questo punto il Carbonio accumulato in un certo anno t è calcolato come:

$$C_t^A = (C_{t-1}^A \times e^{-k}) + C_t^D$$

dove k è una costante di reazione basata sul tempo di dimezzamento □ che assume valori specifici, forniti da IPCC, per i differenti tipi di rifiuto e la fascia climatica.

Il carbonio generato è calcolato come:

$$C_t^G = C_t^A \times (1 - e^{-k})$$

ed in conclusione il CH_4 generato all'anno t è calcolato come:

$$CH_{4t} = C_t^G \times 0{,}5 \times 16/12$$

Accanto al metano sono stimate le emissioni di alcuni altri inquinanti. In particolare sono valutate le quantità di composti organici volatili non metanici (COVNM), benzene (C_6H_6), monossido di carbonio (CO) ed ammoniaca (NH_3) rapportandole alle emissioni di CH_4 mediante i fattori di emissione US EPA AP42.

Infine sono calcolate le emissioni di Particolato (PST, PM_{10} e $PM_{2,5}$) a partire dai fattori di emissione di fonte Guidebook EMEP/EEA rapportati alla quantità di rifiuti conferiti nell'anno.

3.3 Metodo methane commitment

Pur considerato il metodo utilizzato per l'aggiornamento dell'inventario emissioni regionale, per la valutazione della riduzione delle emissioni nelle soluzioni progettuali, poiché non è ipotizzabile una serie storica completa trentennale dei rifiuti prodotti, è stato utilizzato il metodo *methane commitment*.

Le emissioni associate ai rifiuti solidi conferiti in discarica durante l'anno di inventario sono calcolate utilizzando la metodologia di seguito descritta.

In primo luogo è calcolata la quota di carbonio organico degradabile:

$$DOC = 0{,}15 \times A + 0{,}2 \times B + 0{,}4 \times C + 0{,}43 \times D + 0{,}24 \times E + 0{,}24 \times F + 0{,}15 \times G$$

dove:

A, frazione di rifiuti costituita da cibo,
B, frazione di rifiuti costituita da rifiuto verde,
C, frazione di rifiuti costituita da carta,
D, frazione di rifiuti costituita da legno,
E, frazione di rifiuti costituita da tessile,
F, frazione di rifiuti costituita da pannolini,
G, frazione di rifiuti costituita da rifiuti industriali.

È successivamente calcolato il potenziale di produzione di metano, il quale è un fattore di emissione che specifica la quantità di CH4 generata per tonnellata di rifiuti solidi.

Il potenziale di generazione di metano si basa sulla quota di carbonio organico degradabile (DOC) presente nei rifiuti solidi, a sua volta basata sulla composizione dei rifiuti conferiti.

Il potenziale di generazione di metano può variare anche in funzione delle caratteristiche della discarica. Le discariche non gestite producono meno CH4 da una data quantità di rifiuti rispetto alle discariche gestite perché in quelle non gestite una frazione maggiore di rifiuti si decompone aerobicamente negli strati superiori della discarica. I rifiuti più umidi inoltre corrisponderanno a un quota di carbonio organico degradabile più basso.

Il potenziale di produzione di metano è calcolato come:

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times {}^{16}/_{12}$$

dove:

MCF, fattore di correzione per la gestione della discarica (1 per discarica ben gestita; 0,8 per discarica non gestita profonda più di 5 m; 0,4 per discarica non gestita profonda meno di 5 m; 0.6 per discarica non categorizzata; nel seguito assunto pari a 1)

DOC, quota di carbonio organico degradabile si veda equazione [3]

DOCf, frazione di DOC che si degrada (assunta pari a 0,6)

F, frazione di metano nel biogas (assunta pari a 0,5)

16/12, rapporto stechiometrico tra metano e carbonio.

Le emissioni sono infine calcolate come:

$$E_{CH_4} = M \times L_0 \times (1 - f_{rec}) \times (1 - OX)$$

dove:

ECH4, Emissioni totali di CH4 in tonnellate

M, Massa di rifiuti solidi conferiti in discarica nell'anno di inventario, in tonnellate

L0, Potenziale di produzione di metano (si veda equazione [2])

frec, = Frazione di metano recuperato in discarica (torcia o recupero energetico)

OX, = fattore di ossidazione (0,1 per discariche ben gestite, 0 per discariche non gestite).

Il fattore di ossidazione (OX) riflette la quantità di CH_4 che viene ossidata nel suolo o in altro materiale che copre i rifiuti. Se la discarica non è gestita, dunque in assenza di copertura, il fattore di ossidazione è zero, non avviene alcuna ossidazione. Per discariche ben gestite l'IPCC assume un fattore 0,1 per OX, che è un'ipotesi ragionevole basata sulle informazioni disponibili.

4. Riepilogo delle emissioni allo stato attuale

4.1 Emissioni dalle discariche di rifiuti

4.1.1 Le emissioni dell'inventario regionale

Le discariche per rifiuti solidi urbani sono state considerate, nell'inventario regionale come sorgenti areali e l'indicatore dell'attività è la quantità interrata di rifiuti. Per quanto riguarda la stima dell'emissione di CH_4 è stato utilizzato il modello di calcolo basato sulla metodologia IPCC (paragrafo 3.2). È stato preso come arco temporale di riferimento il periodo che va dai primi anni '80 al 2016.

Ottenuti i dati, anno per anno, per ogni singola discarica dagli anni '80 (o dalla data di entrata in funzionamento delle discariche) fino al 2016, si è passati alla definizione della composizione del rifiuto. La composizione del rifiuto era stata in allora divisa in categorie utilizzando le percentuali valutate in passato dalla regione Piemonte. Sono ora disponibili dati pluriennali ed aggiornati relativi alla Liguria.

Inserendo questi dati di input nel modello, si ottiene la quantità di CH_4 prodotta dalle discariche.

È stata infine detratta la quota di metano recuperato nelle discariche con impianti di captazione e combustione del biogas in impianti per il recupero energetico o in torcia. Le informazioni sul biogas recuperato erano in allora state ricavato da un indagine tramite questionario svolta in collaborazione con IRE SpA nell'ambito della predisposizione del Bilancio Energetico Regionale 2016.

Un primo elenco delle strutture a cui sottoporre il questionario era stato ottenuto dal preesistente elenco contenuto nel sistema informativo regionale e consisteva nelle seguenti discariche in cui è presente il recupero di biogas a fini energetici:

- Discarica Ecosavona di Boscaccio (Vado Ligure - SV)
- Discarica Ramognina di Varazze (SV)
- Discarica Scarpino di Scarpino (Genova - GE)
- Discarica Idroedil di Colette Ozono (Sanremo Taggia - IM)
- Discarica Val Bosca di La Spezia
- Discarica ATA di Savona
- Discarica Ponticelli di Imperia

Non risultava all'epoca recupero di biogas a fini energetici nelle discariche:

- Discarica di Rio Marsiglia (Uscio – Tribogna GE)
- Discarica di Malsapello (rezzoaglio – GE)
- Discarica La Birra di Busalla (GE)
- Discarica Cà da Matta di Sestri Levante (GE).

Le prime 4 e la discarica di Rio Marsiglia sono quelle tuttora operative sul territorio regionale.

Oltre alle discariche era stato preso in considerazione anche il biodigestore:

- Ferrania Ecologia Srl di Cairo Montenotte.

In Tabella 2 sono riportate tutte le discariche (analizzate per quanto riguarda le emissioni dei differenti inquinanti come riportate dall'inventario regionale relativamente all'anno 2016. Si evidenzia come nella tabella siano ricomprese anche discariche a cui non venivano già più conferiti rifiuti ma che erano (e sono) ancora attive in termini di emissioni inquinanti.

Discarica	Comune
Bossarino	Vado Ligure
Ecosavona	Vado Ligure
Magliolo Casei	Magliolo
Val Bosca	La Spezia
Santalò	Varese Ligure
Le Gronde	Bonassola
Scarpino	Genova
Rio Marsiglia	Tribogna
Malsapello	Rezzoaglio
Valla	Torriglia
La Birra	Busalla
Ca Da Matta	Sestri Levante
Valle Della Chiesa	Carro
ATA	Savona
Ramognina	Varazze
Idroedil	San Remo
Ponticelli	Imperia

Tabella 2 – Discariche attive o dismesse attive nell'inventario delle emissioni

In Tabella 3 sono riportate le emissioni totali regionali dalle discariche come valutate all'interno dell'inventario regionale delle emissioni per l'anno 2016.

Sostanza	Unità misura	Emissioni
Metano (CH_4)	Mg	19.133
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	401.793
Composti organici volatili, escluso il metano (COVNM)	Mg	174
Benzene (C_6H_6)	kg	407
Ammoniaca (NH_3)	Mg	137
Particelle sospese con diametro inferiore a 10 □m (PM_{10})	Mg	6
Particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 □m ($PM_{2,5}$)	Mg	1
Particelle sospese totali (PST)	Mg	12
Monossido di carbonio (CO)	Mg	1

Tabella 3 – Emissioni totali regionali dalle discariche per l'anno 2016

4.1.2 Sensitività del modello alla variazione della composizione del rifiuto

Al tempo della redazione dell'inventario delle emissioni non erano disponibili dati regionali liguri utilizzabili al fine di valutare la distribuzione delle differenti componenti come richiesto dal modello IPCC (organico, verde, carta, legno, tessile, pannolini, plastica ed altri inerti).

Come riportato in precedenza nella attuale valutazione dell'inventario regionale 2016 si è fatto riferimento ad una distribuzione standard (colonna Inventario regionale in Tabella 4) derivata da informazioni della Regione Piemonte.

Nella presente analisi è stato invece possibile basarsi sulla composizione merceologica ligure.

Le percentuali di Tabella 4 sono riportate prendendo in esame in modo conservativo gli esiti della campagne merceologiche 2015-2016, limitandosi ai comuni con raccolta stradale e mantenendo costante la quota del verde (sottratta all'organico).

Categoria	Inventario regionale (%)	Piano rifiuti (%)
Organico	23	27
Verde	7	7
carta	29	21
legno	4	1
tessile	3	7
pannolini	0	7
plastica ed altri inerti	34	30

Tabella 4 – Distribuzione merceologica rifiuto utilizzata per l'inventario emissioni 2016 e distribuzione reale derivante dai risultati delle campagne merceologiche coordinate da ARPAL con riferimento al 2015-16 per la raccolta stradale

Categoria	Porta a porta (%)	Stradale (%)
organico	23,58	34,10
carta recuperabile	9,52	13,37
carta non recuperabile	11,19	8,03
metalli	2,46	2,95
plastica recuperabile	14,28	12,82
legno recuperabile	0,74	0,64
legno non recuperabile	0,00	0,00
vetro	1,85	3,41
inerti	1,47	0,87
pannolini	14,41	6,90
tessile e cuoio	9,78	6,57
RUP	0,13	0,25
frazione fine < 20 mm	5,06	5,17
altro non classificabile	1,87	2,85

Tabella 5 – Composizione merceologica dei rifiuti 2015-2016 per tipo di raccolta (Piano Rifiuti)

La variazione delle emissioni di biogas, rispetto alla stima dell'inventario regionale in allora compiuta, legata alla variazione della composizione merceologica dei rifiuti al 2016 è comunque molto limitata: dell'ordine del -4% se prendiamo per riferimento la raccolta in strada e dell'ordine del +3% se prendiamo per riferimento la raccolta porta a porta.

4.2 Emissioni dal trasporto sul sito di smaltimento

A fini di completezza sono state valutate le emissioni dovute al trasporto dei rifiuti verso gli impianti di trattamento interni ed esterni alla regione.

Nel 2016 sono stati prodotte in Regione 846.700 tonnellate di rifiuti di cui il 43% sono stati raccolti in forma differenziata. La quantità indifferenziata, pari a circa 480.000 t è stata conferita per 140.000 tonnellate ad impianti in Regione (per una quota di circa il 29% dell'indifferenziato) e per la quantità restante fuori regione.

Per gli impianti interni alla regione è possibile assumere speditivamente una distanza media di 30 km.

Per calcolare gli impatti dei trasporti nel caso di conferimenti ad impianti extraregionali, viste le opzioni che poi si andranno a comparare sono stati presi in considerazione i soli impianti di termovalorizzazione cui nel periodo fine 2014 – fine 2020 vi è stato conferimento rifiuti indifferenziati, riportati in Tabella 6: per questi impianti è stata valutata una distanza media di 220 km.

Impianto TMV
A2A Ambiente Milano
ACSM AGAM Como
CORE Sesto San Giovanni)
REA Dalmine (BG)
IREN Parma
IREN Piacenza
TRM Torino

Tabella 6 – Impianti TMV extraregionali cui negli anni passati vi è stato conferimento rifiuti indifferenziati

Si è ottenuta poi, sempre speditivamente, una distanza media, pesata sulla quantità di rifiuti conferiti, pari a 165 km con una percorrenza totale media per viaggio andata e ritorno di 330 km.

Per la stima delle emissioni è stato assunto un carico medio dei veicoli per il trasporto di 27,5 tonnellate con una stima di circa 17.500 viaggi andata e ritorno.

La stima delle emissioni è stata effettuata utilizzando i fattori di emissione del Guidebook EMEP/EEA prendendo come riferimento autocarri rigidi di classe 26 - 28 tonnellate con una velocità media di 80 km/h. Per la situazione al 2016 è stata valutata una composizione del parco con un 50% di veicoli EURO V (immatricolati nel periodo 2008-13) ed un 50% di veicoli EURO VI A/B/C (immatricolati nel periodo 2013-2019).

Le emissioni originate da questi viaggi sono comunque nel complesso piuttosto limitate, con sole emissione significative pari a 6 tonnellate di ossidi di azoto e 1 tonnellata di PM10.

5. Emissioni nelle ipotesi progettuali

5.1 Scenari di potenziale produzione

Per quanto riguarda il fabbisogno complessivo da soddisfare per una completa chiusura del ciclo a livello d'ambito regionale, considerando i dati relativi ai flussi di rifiuti in uscita dagli impianti di trattamento meccanico biologico del rifiuto indifferenziato a regime e le previsioni in merito alle quote di differenziata da raggiungere, sulla base dei progetti autorizzati od in corso di autorizzazione, si possono anticipare i seguenti scenari di potenziale produzione di Combustibile Solido Secondario (CSS) a regime.

Il range di CSS o matrice dalle caratteristiche analoghe potenzialmente producibile a regime in Liguria è valutato come compreso tra le circa 85.000 e le circa 146.250 t/anno, cui sommare circa 14.500 di scarti da Raccolta Differenziata, per un range complessivo compreso tra le circa 100.000 e le circa 161.000 t/anno.

La composizione merceologica del rifiuto indifferenziato al netto del recuperabile stimata al 2026[4] è riportata nella Tabella 4.

Categoria	Stima 2026 (%)
Organico	8
Verde	7
carta	17
Legno	1
Tessile	15
Pannolini	21
plastica ed altri inerti	31

Tabella 7 – Distribuzione merceologica rifiuto indifferenziato stimata al 2026 al netto del recuperabile

[4] Elaborato secondo le categorie IPCC da dati in elaborazione per l'aggiornamento del piano rifiuti regionale sulla base di stime specifiche ARPAL circa la composizione merceologica del rifiuto indifferenziato prevedibile al 2026

5.2 Valutazione delle emissioni future con attuale configurazione impiantistica

Per la valutazione delle emissioni di CO_2 equivalente con la attuale configurazione impiantistica sono prese in considerazione le quantità di rifiuti previste dal Piano per l'anno 2026 di cui al paragrafo precedente nell'ipotesi minima minima per lo smaltimento di 100.000 tonnellate anno e massima per lo smaltimento di 161.000 tonnellate anno.

Le emissioni di CH4 sono valutate con il metodo methane commitment (paragrafo 3.3) considerando la composizione di Tabella 3.

Alla quantità calcolata è stata sottratta una stima della quantità recuperata.

Per la valutazione del recupero di biogas si è fatto riferimento alla percentuale media di recupero (42%) dalle discariche valutata a livello nazionale[5] che è rapportata ai quantitativi di rifiuti previsti alla data di progetto. Va tuttavia sottolineato come la quantità di metano recuperabile è in diminuzione negli ultimi anni a causa della variazione della composizione del rifiuto stesso dunque la stima è conservativa ed in conseguenza le emissioni potrebbero risultare sottostimate.

Si ottengono i risultati di

Tabella 8.

Sostanza	Unità misura	Emissioni min§	Emissioni max§
Metano (CH_4)	Mg	2.926	1.229
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	61.447	25.808
Composti organici volatili, escluso il metano (COVNM)	Mg	27	11
Ammoniaca (NH_3)	Mg	21	9

Tabella 8
Emissioni totali derivanti dallo smaltimento in discarica di flussi in uscita TMB pari a 100.000 (min)/161.000 (max)

[5] ISPRA, Italian greenhouse gas inventory 1990-2019. National Inventory Report 2021

5.3 Valutazione delle emissioni evitate dal mancato trasferimento in discarica del rifiuto avviato ad altre soluzioni tecnologiche

Nel seguito è effettuata una valutazione delle emissioni di CO_2 equivalente evitabili non conferendo in discarica i quantitativi di cui sopra nel caso trovino invece destino a valorizzazione con le differenti soluzioni tecnologiche oggetto di valutazione comparativa; è inoltre valutato il carico emissivo sugli inquinanti maggiori.

5.3.1 Valutazione delle emissioni da una soluzione di termovalorizzazione

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta la valutazione delle emissioni di gas climalteranti e CO2 equivalente[6] e di inquinanti dell'aria[7] di una soluzione di termovalorizzazione (di una quantità analoga, considerata in ogni caso di rifiuto urbano indifferenziato "tal quale", non computando eventuali impatti aggiuntivi derivanti dal trattamento) in impianti di recupero energetico. Sono prese in considerazione le quantità di rifiuti previste dal Piano per l'anno 2026 di cui al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** nell'ipotesi minima minima per lo smaltimento di 100.000 tonnellate anno e massima per lo smaltimento di 161.000 tonnellate anno.

Sostanza	Unità misura	Emissioni min§	Emissioni max§
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	53.608	86.309
Anidride Carbonica (CO_2)	Mg	52.300	84.203
Protossido di azoto (N_2O)	Mg	4	7
Metano (CH_4)	Mg	0	0
Monossido di carbonio (CO)	Mg	4,1	6,6
Composti organici volatili escluso metano (COVNM)	Mg	0,6	0,9
Ossidi di azoto (NO_x)	Mg	107,1	172,4
Particelle sospese con diametro inferiore a 10 μm (PM_{10})	Mg	0,3	0,5
Particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 μm ($PM_{2,5}$)	Mg	0,3	0,5
Particelle sospese totali (PST)	Mg	0,3	0,5
Ossidi di zolfo (SO_x)	Mg	8,7	14,0
Ammoniaca (NH_3)	Mg	0,3	0,5
Arsenico (As)	kg	0,6	1,0
Cadmio (Cd)	kg	0,5	0,7
Cromo (Cr)	kg	1,6	2,6
Rame (Cu)	kg	1,4	2,2
Mercurio (Hg)	kg	1,9	3,0
Nichel (Ni)	kg	2,2	3,5
Piombo (Pb)	kg	5,8	9,3
Selenio (Se)	kg	1,2	1,9
Zinco (Zn)	kg	2,5	3,9
Benzo(a)pirene	kg	0,8	1,4
Benzo(b)fluorantene	kg	1,8	2,9
Benzo(b)fluorantene	kg	1,0	1,5
Indenopirene	kg	1,2	1,9
Black Carbon	kg	10,5	16,9
Esaclorobenzene (HCB)	g	4,5	7,3
Policlorobifenili (PCB)	g	0,3	0,5
Diossine e furani (PCDD-F)	g	5,3	8,5

§ ipotesi minima per smaltimento di 100.000 tonnellate anno, massima per smaltimento di 161.000 tonnellate anno

Tabella 9 – Emissioni da una soluzione di termovalorizzazione

[6] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy, Chapter 2: Stationary Combustion

[7] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, 5.C.1.a Municipal waste incineration (2019)

Per quanto riguarda l'anidride carbonica le emissioni sono valutate come il 50% della quantità effettivamente emessa tenuto conto della frazione organica del rifiuto stesso[8] considerata come neutrale.

5.3.2 Valutazione preliminare delle emissioni da una soluzione waste to chemicals

In questo paragrafo vengono invece valutate le potenziali emissioni derivanti dalla valorizzazione delle medesime quantità di rifiuti mediante un impianto con tecnologia Waste-to-Chemical (WtC) per produzione di idrogeno e metanolo mediante il trattamento di rifiuti urbani e speciali, assimilabili per caratteristiche ai combustibili solido secondari da rifiuto (CSS rifiuto) e, in misura minore, Plasmix o matrici similari (es. scarti da recupero materie plastiche da raccolta differenziata), comunque derivabili da sopravaglio da separazione secco/umido di rifiuti urbani indifferenziati dopo ulteriori trattamenti più o meno spinti sulla base delel caratteristiche finali desiderate .

Il processo produttivo WtC è strutturato essenzialmente in una serie di macro-stadi: in primis la fase di gassificazione dei rifiuti, seguita dalla purificazione del syngas generato e, infine, il trattamento di quest'ultimo in un reattore catalitico, sezione in cui avvengono le trasformazioni chimiche necessarie per la sintesi dell'idrogeno (e gli eventuali altri prodotti di sintesi).

Rispetto alle tecnologie convenzionali di trattamento di tali materiali (quali termovalorizzazione classica o la pirolisi), la gassificazione accoppiata con una successiva reazione di spostamento del gas d'acqua, consente la produzione di un gas particolarmente ricco di idrogeno. Un'aliquota più o meno spinta dell'idrogeno prodotto può essere potenzialmente destinata alla produzione di metanolo (il rapporto relativo tra i due prodotti sarà orientato dalle condizioni di mercato che attualmente appare ancora più favorevole per il metanolo).

In via assolutamente preliminare per un impianto di taglia 200.000 t/a di input CSS/Plasmix si prevede l'autoproduzione di energia elettrica e termica necessaria al funzionamento dell'impianto, mediante ciclo combinato di potenza complessiva di circa 18,5 MW alimentato a gas naturale.

La quantità di metanolo e di idrogeno prodotti ammonterebbe rispettivamente a 88.800 t/anno e a 1.440 t/anno. Considerando che processo produttivo e di funzionamento dell'impianto non è completamente definibile a priori (potendo variare in base a determinate condizioni e risultati che si intendono raggiungere) non sono accuratamente stimabili le quantità di idrogeno necessarie alla produzione di metanolo.

Alcuni calcoli preliminari valutano il consumo di energia primaria stimato per la turbina a gas naturale collegata al reattore pari a 308 GWh. Poiché questa stima è riferita alla quantità di input di 200.000 t/a è stata effettuta una stima approssimativa del consumo nelle ipotesi di 100.000 e 161.000 t/anno di rifiuti da smaltire come nel caso delle altre soluzioni impiantistiche. Con queste quantità si ottengono consumi di gas naturale di 154 GWh nell'ipotesi minima e di 248 GWh nell'ipotesi massima.

A questi consumi corrispondono le emissioni di **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** dove sono prese in considerazione le quantità di rifiuti previste dal Piano per l'anno 2026 di cui al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** nell'ipotesi minima minima per lo smaltimento di 100.000 tonnellate anno e massima per lo smaltimento di 161.000 tonnellate anno.

[8] ISPRA, Italian greenhouse gas inventory 1990-2019. National Inventory Report 2021

Sostanza	Unità misura	Emissioni min	Emissioni max
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	31.100	50.100
Ossidi di azoto (NO_x)	Mg	26,6	42,8
Composti organici volatili escl. metano (COVNM)	Mg	0,9	1,4
Monossido di carbonio (CO)	Mg	2,7	4,3
Black Carbon	Kg	2,8	4,5

§ ipotesi minima per smaltimento di 100.000 tonnellate anno, massima per smaltimento di 161.000 tonnellate anno

Tabella 10 – Emissioni totali per la produzione di energia elettrica

Anche in questo caso l'idrogeno e il metanolo (o etanolo) prodotti, come feed per industria chimica o come combustibili, andrebbero poi a sostituire combustibili fossili generando un ulteriore riduzione delle emissioni, potenzialmente di rilevante significatività.

Per valutare il bilancio della CO_2 si possono dunque fare ancora le seguenti due valutazioni complementari.

Ipotizzando la sostituzione del metanolo prodotto con questo processo a metanolo prodotto da fonti fossili si può valutare la riduzione delle emissioni di CO_2 per la produzione di metanolo.

Utilizzando un fattore di emissione IPCC[9] di 0,67 Mg per Mg di metanolo prodotto[10] da gas naturale e considerando trascurabili le emissioni prodotte dal processo oggetto di questa analisi, fatta eccezione per le emissioni per la produzione di energia elettrica, si ottiene un bilancio di emissioni di CO_2 come riportato nella seguente Tabella 11.

Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Unità misura	Emissioni min§	Emissioni max§
Produzione di energia elettrica	Mg	31.100	50.100
Risparmio per sostituzione di metanolo da gas naturale	Mg	-24.000	-38.600
Emissioni finali	Mg	7.100	11.500

Tabella 11 – Bilancio delle emissioni totali da una soluzione waste to chemicals con sostituzione del metanolo prodotto da gas naturale

[9] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3. Industrial Processes and Product Use.

[10] Conventional Steam Reforming, without primary reformer (Default Process and Natural Gas Default Feedstock)

5.4 Valutazione delle emissioni dal trasporto dei rifiuti nei siti di smaltimento

Anche in questo caso a fini di completezza sono state valutate le emissioni provenienti dal trasporto dei rifiuti verso gli impianti di trattamento interni ed esterni alla regione.

Nello scenario descritto nei paragrafi precedenti sono smaltiti in discarica ovvero altrimenti valorizzati rifiuti urbani indifferenziati, dopo un trattamento più o meno spinto, per un quantitativo complessivo compreso tra le circa 100.000 e le circa 161.000 t/anno.

Per il conferimento in discarica è stato valutato che avverrà solo in impianti liguri con una distanza media pari a 30 km e con una percorrenza totale media per viaggio andata e ritorno di 60 km.

Per l'impianto d'ambito regionale waste-to-chemical è assunta invece una distanza media di 90 km con una percorrenza totale media per viaggio andata e ritorno di 180 km. *Tale assunto è di evidente cautela, in quanto sulla base dei criteri che privilegerebbero una posizione baricentrica di tale impianti la percorrenza media pesata potrebbe essere significativamente minore.*

Per quanto riguarda la termovalorizzazione è stata assunta, come allo stato attuale, una distanza media di 220 km con una percorrenza totale media per viaggio andata e ritorno di 440 km (gli impianti di termovalorizzazione esterni alla Regione cui negli anni passati vi è stato conferimento rifiuti indifferenziati sono riportati in Tabella 6).

Per la stima delle emissioni anche in questo caso è stato assunto un carico medio dei veicoli per il trasporto di 27,5 tonnellate con una stima tra 3.640 e 5.850 viaggi andata e ritorno.

La stima delle emissioni è stata effettuata utilizzando i fattori di emissione del Guidebook EMEP/EEA prendendo come riferimento autocarri rigidi di classe 26 - 28 tonnellate con una velocità media i 80 km/h. Per la situazione all'anno di progetto è stata valutata una composizione del parco con un 50% di veicoli EURO VI A/B/C (immatricolati nel periodo 2013-2019) ed un 50% di veicoli EURO VI D/E (immatricolati dopo il 2019).

In definitiva si ottiene per gli ossidi di azoto un emissione 70-120 kg per la soluzione discarica, di 220-350 kg per la soluzione con impianto waste-to-chemical e di 530-850 kg di ossidi di azoto per la termovalorizzazione o per le discariche.

In tutti i casi le emissioni sono molto basse (e minori rispetto alla situazione ad es. del 2016, per minori volumi da trasportare) e con un impatto non significativo sul complesso delle emissioni da traffico stradale. Ininfluenti le emissioni degli altri inquinanti.

5.5 Confronto finale in termini emissivi (CO2 equivalente e di inquinanti dell'aria) tra le soluzioni analizzate

In Tabella 12 è riportato un confronto riassuntivo delle emissioni nelle differenti soluzioni impiantistiche considerate.

Per la CO_2 della soluzione Waste to chemical è utilizzata una media delle due ipotesi introdotte nel capitolo precedente (sostituzione di metanolo a benzina nei trasporti e sostituzione di metanolo per usi non energetici).

Sostanza	Unità	Ipotesi minima§			Ipotesi massima§		
		Discarica	Termov.	*Waste to chemicals*	Discarica	Termov.	*Waste to chemicals*
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	52.705	53.608	**1.400**	84.856	86.309	**2.200**
Anidride Carbonica (CO_2)	Mg		52.300			84.203	
Protossido di azoto (N_2O)	Mg		4			7	
Metano (CH_4)	Mg	2.510			4.041		
Ossidi di azoto (NO_x)	Mg		107,6	**26,8**		173,2	**43,1**
Monossido di carbonio (CO)	Mg		4,1	**2,7**		6,6	**4,3**
Composti organici volatili° (COVNM)	Mg	23	0,6		37	0,9	
Particelle con diametro < 10μm (PM_{10})	Mg		0,3			0,5	
Particelle con diametro < 2,5 μm ($PM_{2,5}$)	Mg		0,3			0,5	
Particelle sospese totali (PST)	Mg		0,3			0,5	
Ossidi di zolfo (SO_x)	Mg		8,7			14,0	
Ammoniaca (NH_3)	Mg	18	0,3		29	0,5	
Metalli pesanti totali°°	kg		17,6			28,3	
Idrocarburi policiclici aromatici°°°	kg		4,7			7,6	
Black Carbon	kg		10,5	**2,8**		16,9	**4,5**
Esaclorobenzene (HCB)	g		4,5			7,3	
Policlorobifenili (PCB)	g		0,3			0,5	
Diossine e furani (PCDD-F)	g		5,3			8,5	

§ ipotesi minima per smaltimento di 100.000 tonnellate anno, massima per smaltimento di 161.000 tonnellate anno; il valore assente rappresenta una emissione nulla o trascurabile; nella tabella sono sommate per gli ossidi di azoto le emissioni da trasporto

° escluso metano
°° come somma di Arsenico, Cadmio, Cromo, Rame, Mercurio, Nichel, Piombo, Selenio, Zinco
°°° come somma di Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Indenopirene

Tabella 12 – Confronto tra le emissioni nelle differenti soluzioni impiantistiche considerando anche il recupero di biogas da discarica e le emissioni evitate grazie alla sostituzione del metanolo prodotto da fonti fossili

Complessivamente appare evidente come la soluzione *waste to chemicals* sia quella potenzialmente meno impattante sia in termini di CO_2 equivalente che di inquinanti dell'aria, pur con gli assunti cautelativi sopra richiamati e come lo smaltimento in discarica, ove si calcoli il recupero di biogas (tuttavia destinato a calare) risulti sotto questo profilo di circa pari impatto alle soluzioni di termovalorizzazione.

Ove invece non si considerino gli effetti positivi del recupero di biogas da discarica, che a medio – lungo termine dovrebbe notevolmente ridursi rispetto agli assunti precedentemente esposti (percentuale media di recupero 42%), né gli effetti positivi per l'ipotesi WTC dati dalla sostituzione del metanolo prodotto con questo processo a metanolo prodotto da fonti fossili (data l'incertezza su quantità e tipologia di chemicals producibili, anche in funzione delle richieste di mercato), i risultati del confronto finale in termini emissivi tra le differenti soluzioni impiantistiche considerate muterebbero come di seguito riportato.

Sostanza	Unità	Ipotesi minima§			Ipotesi massima§		
		Discarica	Termov.	*Waste to chemicals*	Discarica	Termov.	*Waste to chemicals*
Anidride Carbonica equivalente (CO_{2eq})	Mg	90.871	53.608	31.100	146.303	86.309	50.100
Anidride Carbonica (CO_2)	Mg		52.300			84.203	
Protossido di azoto (N_2O)	Mg		4			7	
Metano (CH_4)	Mg	4.327			6.967		
Ossidi di azoto (NO_x)	Mg	0,1	107,6	26,8	0,1	173,2	43,1
Monossido di carbonio (CO)	Mg		4,1	2,7		6,6	4,3
Composti organici volatili° (COVNM)	Mg	40	0,6		64	0,9	
Particelle con diametro < 10μm (PM_{10})	Mg		0,3			0,5	
Particelle con diametro < 2,5 μm ($PM_{2,5}$)	Mg		0,3			0,5	
Particelle sospese totali (PST)	Mg		0,3			0,5	
Ossidi di zolfo (SO_x)	Mg		8,7			14,0	
Ammoniaca (NH_3)	Mg	92	0,3		148	0,5	
Metalli pesanti totali°°	kg		17,6			28,3	
Idrocarburi policiclici aromatici°°°	kg		4,7			7,6	
Black Carbon	kg		10,5	2,8		16,9	4,5
Esaclorobenzene (HCB)	g		4,5			7,3	
Policlorobifenili (PCB)	g		0,3			0,5	
Diossine e furani (PCDD-F)	g		5,3			8,5	

§ ipotesi minima per smaltimento di 100.000 tonnellate anno, massima per smaltimento di 161.000 tonnellate anno; il valore assente rappresenta una emissione nulla o trascurabile; nella tabella sono sommate per gli ossidi di azoto le emissioni da trasporto

° escluso metano

°° come somma di Arsenico, Cadmio, Cromo, Rame, Mercurio, Nichel, Piombo, Selenio, Zinco

°°° come somma di Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(b)fluorantene, Indenopirene

Confronto tra le emissioni nelle differenti soluzioni impiantistiche senza considerare recupero biogas da discarica (previsto in calo) ed emissioni evitate grazie alla sostituzione del metanolo prodotto da fonti fossili

Tali risultati evidenziano maggiormente come il risultato peggiore anche sotto il profilo emissivo siano quelli dovuti alla discarica, opzione comunque impercorribile visti gli indirizzi normativi sopraordinati, mentre le soluzioni waste to chemical (sempre la migliore dal punto di vista emissivo) e termovalorizzazione vedrebbero i loro risultati in avvicinamento relativo.