



■ analysis and monitoring of environmental risk

SCENARI DI GESTIONE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI IN REGIONE CAMPANIA

30 giugno 2008

Relatori:

Prof. Umberto Arena - *Seconda Università degli Studi di Napoli*

Prof. Paul H. Brunner - *Vienna University of Technology*

Prof. Paolo Gasparini - *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

Prof. Maria Laura Mastellone - *Seconda Università degli Studi di Napoli*

SOMMARIO

1	Obiettivi	5
1.1	Obiettivi del rapporto	5
1.2	Obiettivi della gestione dei rifiuti	5
1.2.1	Obiettivi della legislazione comunitaria e nazionale in tema di rifiuti	6
1.2.2	Obiettivi della gestione dei rifiuti usati in questo rapporto	7
2	Attuale sistema di gestione in Regione Campania	10
3	Scenari futuri	16
3.1	Motivazioni e giustificazione delle alternative	17
3.2	Descrizione degli scenari	19
4	Valutazione	25
4.1	Criteri	25
4.2	Dati	27
4.2.1	Produzione di RSU e loro composizione	27
4.2.2	Tattamento aerobico della frazione organica separata meccanicamente dai RSU negli impianti ex CDR	31
4.2.3	Tattamento anaerobico della frazione organica raccolta differenziatamente	32
4.2.4	Discarica	33
4.3	Valutazione dei risultati	34
4.3.1	Scenario A	35
4.3.2	Scenario B	51
4.3.3	Dotazione impiantistica necessaria e confronto tra gli scenari	66
5	Conclusioni	68
6	Bibliografia	70

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 Bilancio di massa relativo allo scenario “status quo”. Layer “massa di rifiuto”.</i>	13
<i>Figura 2 Bilancio di massa sul carbonio relativo allo scenario “Status quo”</i>	14
<i>Figura 3 Bilancio di massa sull’elemento Cadmio relativo allo scenario “Status quo”</i>	15
<i>Figura 4 Rappresentazione grafica dell’andamento nel tempo della produzione di biogas per una discarica con una vita di 10 anni ed un ammontare di rifiuti biodegradabili pari a 1.000t/anno</i>	34
<i>Figura 5 Bilancio di massa relativo allo scenario “A1”. Layer “massa di rifiuto”.</i>	40
<i>Figura 6 Bilancio di massa relativo allo scenario “A1”. Layer “Carbonio”.</i>	41
<i>Figura 7 Bilancio di massa relativo allo scenario “A1”. Layer “Cadmio”.</i>	42
<i>Figura 8 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer “massa di rifiuto”.</i>	43
<i>Figura 9 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer “carbonio”.</i>	44
<i>Figura 10 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer “cadmio”.</i>	45
<i>Figura 11 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer “massa di rifiuto”.</i>	46
<i>Figura 12 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer “carbonio”.</i>	47
<i>Figura 13 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer “cadmio”.</i>	48
<i>Figura 14 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A1.</i>	49
<i>Figura 15 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A2.</i>	50
<i>Figura 16 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A3.</i>	51
<i>Figura 17 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer “massa di rifiuto”</i>	54
<i>Figura 18 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer “carbonio”</i>	55
<i>Figura 19 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer “cadmio”</i>	56
<i>Figura 20 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer “massa di rifiuto”</i>	57
<i>Figura 21 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer “carbonio”</i>	58
<i>Figura 22 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer “cadmio”</i>	59
<i>Figura 23 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer “massa di rifiuto”</i>	60
<i>Figura 24 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer “carbonio”</i>	61
<i>Figura 25 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer “cadmio”</i>	62
<i>Figura 26 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B1.</i>	63
<i>Figura 27 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B2.</i>	64
<i>Figura 28 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B3.</i>	65
<i>Figura 29 Confronto tra il volume totale di discarica necessario per ciascun scenario.</i>	67
<i>Figura 30 Confronto tra la potenza elettrica netta ottenibile per ciascun scenario.</i>	67

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 Dati di input ed elaborati per la costruzione degli scenari futuri identificati con le sigle A1, A2, A3, B1, B2, B3.</i>	24
<i>Tabella 2 Produzione dei rifiuti solidi urbani in Campania nel 2006, con ripartizione tra la portata raccolta in modo differenziato e quella indifferenziata. (Fonte: Rapporto Rifiuti Apat/ONR 2007)</i>	28
<i>Tabella 3 Composizione merceologica del rifiuto differenziato in Campania nel 2006. (Fonte: Rapporto Rifiuti APAT/ONR 2007)</i>	28
<i>Tabella 4 Analisi merceologica del rifiuto residuale in ingresso all'impianto MBT di Caivano</i>	29
<i>Tabella 5 Rifiuti in uscita dai diversi impianti MBT (ex CDR) suddivisi per codice C.E.R., riferiti all'anno 2007</i>	30
<i>Tabella 6 Composizione della FORSU assunta come riferimento in ingresso ai trattamenti biologici aerobici. La portata di FOS stimata in tabella è quella teoricamente ottenibile se il processo venisse condotto in modo corretto (scenario A).</i>	32
<i>Tabella 7 Dati di input e dati stimati per un processo di digestione anaerobica della FORSU</i>	32
<i>Tabella 8 Dati di input e output del modello biochimico di produzione biogas</i>	33
<i>Tabella 9 Massa di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari A</i>	36
<i>Tabella 10 Volume di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari A</i>	36
<i>Tabella 11 Costi e ricavi elettrici specifici dei principali processi inclusi negli scenari di gestione.</i>	38
<i>Tabella 12 Stima dell'energia netta ottenibile dagli scenari A.</i>	39
<i>Tabella 13 Massa di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari B</i>	52
<i>Tabella 14: Volume di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari B</i>	52
<i>Tabella 15 Energia netta stimata per gli scenari B.</i>	53
<i>Tabella 16 Numero e potenzialità degli impianti di digestione anaerobica e termovalorizzazione ipotizzati nei diversi scenari A e B.</i>	66

1 OBIETTIVI

1.1 Obiettivi del rapporto

Scopo primo di questa relazione è fornire un supporto scientifico alle Autorità regionali e nazionali che devono pianificare ed avviare ad attuazione le soluzioni gestionali ed impiantistiche in grado di risolvere in maniera strutturale l'emergenza rifiuti di cui soffre la Regione Campania da oltre 10 anni.

Il rapporto è focalizzato esclusivamente sul problema del trattamento e smaltimento dei rifiuti *urbani*, anche se non è di minore importanza, dal punto di vista ambientale e sanitario, la necessità di un contemporaneo e tempestivo approccio anche al problema dei rifiuti *speciali*, per i quali Amra ha già recentemente fornito un contributo agli enti locali¹.

Sulla base di questi obiettivi generali e utilizzando le informazioni sulla produzione e composizione dei rifiuti urbani in Campania e sull'impiantistica attualmente disponibile, si sono delineati e quantificati alcuni scenari programmatici. Per ciascuno di essi, lo scopo del lavoro svolto è stato quello di definire i quantitativi di rifiuti che verrebbero avviati ai vari trattamenti (trattamento meccanico-biologico, termovalorizzazione per combustione diretta, digestione anaerobica, ecc.), di quantificare (in massa e volume) i quantitativi dei residui da conferire in discarica, di valutare gli ammontari di materie recuperabili dalle filiere del riciclo e l'entità del recupero energetico conseguibile attraverso i processi termici e biologici.

Va al di là degli obiettivi di questo rapporto l'analisi e la valutazione delle problematiche di localizzazione e di quelle dei costi della gestione, che pure costituiscono aspetti cruciali della programmazione da realizzare.

1.2 Obiettivi della gestione dei rifiuti

Lo scopo primario di un sistema di gestione dei rifiuti solidi è fornire un servizio, specificamente quello di rimuovere i rifiuti dall'habitat umano per assicurare il mantenimento di condizioni di vita igieniche. Questo compito fondamentale, che è stato il principale obiettivo delle gestioni di rifiuti fino alla fine del 19mo secolo e lo è ancora in molti paesi in via di sviluppo, è stato raggiunto in Europa con l'introduzione delle moderne pratiche sanitarie. Oggi, la gestione dei rifiuti soddisfa gli obiettivi igienici così bene e costantemente che il pubblico non avverte la necessità (e l'importanza) del servizio se non nelle situazioni di emergenza.

¹ AMRA ha realizzato le parti "Scenari future e interventi programmatici" e "Criteri per l'individuazione delle destinazioni potenziali ottimali" del *Piano di Gestione dei Rifiuti Speciali* consegnato ad ARPAC il 2/5/2008.

La crescita della produzione e dei consumi ha reso cruciali il ruolo della gestione rifiuti come “filtro” tra le attività umane e l’ambiente. Ciò si è tradotto nello sviluppo di tecnologie affidabili e sicure, quali i moderni sistemi di raccolta, termovalorizzazione e conferimento controllato in discarica. E’ stata poi introdotta la pratica del riciclo, subito individuata come il mezzo per ridurre lo sfruttamento di risorse primarie e l’inquinamento creato dai processi di estrazione e lavorazione delle stesse.

Questa breve premessa documenta il cambio nel tempo degli obiettivi di un sistema di gestione dei rifiuti. Per definirlo compiutamente ed efficacemente, è fondamentale partire da un consenso sugli obiettivi. In particolare, se - come in questo rapporto - devono essere valutate diverse opzioni di gestione rifiuti da implementare in regione, è indispensabile aver prima condiviso gli obiettivi finali da utilizzare come denominatore comune e definito i criteri da adottare nella valutazione delle diverse opzioni. La base per selezionare questi criteri non può che essere l’insieme degli obiettivi della gestione rifiuti, così come fissati dalle politiche comunitarie e nazionali.

1.2.1 Obiettivi della legislazione comunitaria e nazionale in tema di rifiuti

La Direttiva quadro europea sui rifiuti impone agli Stati Membri di assicurare che i rifiuti siano recuperati e smaltiti senza compromettere la salute umana, di proibire l’abbandono o lo smaltimento incontrollato dei rifiuti e di stabilire una rete adeguata ed integrata di installazioni impiantistiche che assicurino l’efficienza dell’intero ciclo di gestione.

I principi ispiratori della pianificazione regionale in tema di rifiuti si inquadrano in tale Direttiva e sono contenuti nel D.Lgs. 152/2006 e successive modifiche ed integrazioni, in particolare quelle del D.Lgs.4/2008. In particolare, si fa riferimento al:

- Principio dell'azione ambientale

La tutela dell'ambiente e degli ecosistemi naturali e del patrimonio culturale deve essere garantita da tutti gli enti pubblici e privati e dalle persone fisiche e giuridiche pubbliche o private, mediante una adeguata azione che sia informata ai principi della precauzione, dell'azione preventiva, della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché al principio "chi inquina paga" che, ai sensi dell'articolo 174, comma 2, del Trattato delle unioni europee, regolano la politica della comunità in materia ambientale.

- Principio dello sviluppo sostenibile

1. Ogni attività umana giuridicamente rilevante ... deve conformarsi al principio dello sviluppo sostenibile, al fine di garantire che il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non possa compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future.

2. Anche l'attività della pubblica amministrazione deve essere finalizzata a consentire la migliore attuazione possibile del principio dello sviluppo sostenibile, per cui nell'ambito della scelta comparativa di interessi pubblici e privati connotata da discrezionalità gli interessi alla

tutela dell'ambiente e del patrimonio culturale devono essere oggetto di prioritaria considerazione.

3. Data la complessità delle relazioni e delle interferenze tra natura e attività umane, il principio dello sviluppo sostenibile deve consentire di individuare un equilibrato rapporto, nell'ambito delle risorse ereditate, tra quelle da risparmiare e quelle da trasmettere, affinché nell'ambito delle dinamiche della produzione e del consumo si inserisca altresì il principio di solidarietà per salvaguardare e per migliorare la qualità dell'ambiente anche futuro.

Per garantire il pieno rispetto di questi principi, le diverse forme e fasi di attuazione della pianificazione della gestione dei rifiuti devono:

- assicurare la conservazione della natura e delle risorse attraverso la riduzione della produzione dei rifiuti ed il loro corretto trattamento e smaltimento;
- assicurare una riduzione degli impatti che la gestione dei rifiuti ha sulla salute dell'uomo e sull'ambiente, anche riducendo alla fonte la pericolosità dei rifiuti prodotti;
- assicurare che i rifiuti vengano imballati, etichettati e movimentati correttamente durante le fasi di raccolta, trasporto, stoccaggio temporaneo, trattamento e smaltimento definitivo;
- assicurare infrastrutture adeguate al trattamento efficiente dei vari rifiuti solidi (urbani e speciali) prodotti nel territorio regionale, per raggiungere l'autosufficienza regionale di trattamento e smaltimento in sicurezza;
- assicurare la tracciabilità dei rifiuti, dal momento della loro produzione, durante la fase del loro trasporto e fino al loro smaltimento definitivo;
- assicurare il monitoraggio continuo, trasparente ed affidabile degli impianti preposti al trattamento e smaltimento dei rifiuti, comprese quindi le discariche, per ciò che riguarda sia la gestione amministrativa e le procedure di accettazione e conferimento dei rifiuti agli impianti sia la misurazione e controllo di tutti i principali parametri di interesse dei diversi comparti ambientali.

1.2.2 Obiettivi della gestione dei rifiuti usati in questo rapporto

Sintetizzando quanto riportato in 1.2.1, si sono assunti i seguenti obiettivi come base per lo sviluppo di una strategia di una gestione sostenibile del ciclo dei rifiuti:

1. protezione della salute umana e dell'ambiente;
2. conservazione di risorse quali materiali, energia e spazi;
3. gestione dei rifiuti "after-care-free", cioè tale che né la messa a discarica né la termovalorizzazione, il riciclo o qualsiasi altro trattamento comportino problemi da risolvere per le future generazioni.

Sono rilevanti i seguenti aspetti particolari di questi obiettivi.

Innanzitutto, tali obiettivi non includono la riduzione ed il riciclo. Il motivo è che questi due elementi della gestione dei rifiuti sono misure e non obiettivi. Sono strumenti per raggiungere

gli obiettivi, e non dovrebbero essere confusi con gli scopi finali. La cosiddetta gerarchia “riduzione”, “riciclo” e “smaltimento” che è spesso usata come principio basilare per le decisioni relative alla gestione rifiuti chiede di anteporre la riduzione al riciclo e allo smaltimento. Benché si possa argomentare che questo principio non sempre porta al sistema di gestione più economicamente efficiente, la gerarchia è stata utilizzata quale principio guida in questa relazione: è stato infatti assunto 1) che in regione siano state intraprese tutte le misure per favorire la riduzione dei rifiuti, e 2) che, grazie all’effetto di tali misure di prevenzione, la produzione di rifiuti annua rimanga costante a dispetto della crescita nella produzione nazionale e regionale di rifiuti verificatasi negli ultimi anni. Con riferimento al riciclo, si sono considerati due set di scenari (A e B) con differenti percentuali di raccolta differenziata (si veda il cap.3). Il D.Lgs. 152 del 2006 (art. 205 comma 1 lettera c) fissa nel 65% del rifiuto prodotto il livello di raccolta differenziata da raggiungere entro il 2012. Poiché è improbabile che l’aumento dall’attuale 11,3% ad un ipotetico, futuro 65% di raccolta differenziata sia ottenibile in Campania nell’arco di tempo dei prossimi pochi anni, sono stati presi in esame due scenari, con una percentuale di raccolta differenziata del 35 e del 25% rispettivamente, considerati più realistici nell’immediato e più rappresentativi della situazione che ci si troverà a gestire negli anni immediatamente prossimi². In ogni caso, si sono comunque elaborati gli scenari anche per la situazione con un ipotetico 65% di raccolta differenziata e se ne sono riportati i relativi schemi quantificati.

In secondo luogo, per raggiungere gli obiettivi della “protezione della salute umana e dell’ambiente” e della “conservazione delle risorse”, devono essere soddisfatti certi requisiti relativi alla composizione bio-geo-chimica dei rifiuti. La gestione e il trattamento dei rifiuti non possono cioè focalizzarsi solo sul quantitativo di rifiuti prodotti. E’ indispensabile tenere in conto anche il tipo e la quantità di sostanze (elementi e composti chimici) in essi contenute. Il motivo è che queste sostanze determinano se un rifiuto è una risorsa potenziale o è un materiale pericoloso. Per esempio, è il contenuto di cadmio come stabilizzante nelle plastiche che determina se un rifiuto plastico possa o meno essere riciclato, ed è il contenuto di rame nelle ceneri di fondo di un inceneritore che determina se esse possano essere conferite in discarica o se debbano essere trattate prima del conferimento. Quindi, è importante disporre di sufficienti informazioni sulla composizione dei rifiuti e di conoscere cosa accade ai rifiuti ed ai loro costituenti quando vengono sottoposti ai diversi tipi di trattamento. Per stabilire se gli obiettivi sono stati raggiunti da uno specifico sistema di gestione rifiuti, è necessaria quindi un’analisi dei flussi di materia che copra le diverse correnti di rifiuti, la composizione chimica di tali rifiuti e i coefficienti di trasferimento dei processi di trattamento a cui essi sono sottoposti.

Infine, l’obiettivo *after-care free waste management* ha diverse implicazioni sul conferimento in discarica e sul riciclo. Secondo recenti risultati pubblicati sulla letteratura scientifica, le discariche moderne richiedono il trattamento del percolato nonché il monitoraggio e il controllo di diversi parametri ambientali per archi temporali di centinaia di anni. La ragione principale è che la grande parte di costituenti biodegradabili nei rifiuti si traduce in alti carichi

² Come verrà dettagliato nel seguito, è stato messo a punto un modello di calcolo che consente comunque di ottenere agevolmente i dati di uno specifico scenario di gestione per valori qualsiasi, purché ragionevoli, di rifiuto raccolto in maniera differenziata.

di azoto e carbonio organico dei percolati di discarica. Se i rifiuti sono inceneriti, questa frazione organica è mineralizzata, portando a ceneri di fondo igienizzate che non contengono alcuna materia organica degradabile. Comunque, poiché esse possono ancora percolare sali inorganici e metalli, le ceneri di fondo devono essere trattate per soddisfare l'obiettivo di una gestione *after-care-free*. Per il riciclo, questo stesso obiettivo richiede "cicli puliti". Le sostanze pericolose devono prima essere eliminate dai cicli durante il riciclo dei rifiuti a nuovi prodotti e poi smaltite in un sito finale sicuro. In definitiva, il terzo obiettivo impone che i materiali costituenti i rifiuti siano inviati a cicli puliti di trattamento e recupero o eliminati e inviati ad un conferimento finale in sicurezza.

2 ATTUALE SISTEMA DI GESTIONE IN REGIONE CAMPANIA

La produzione complessiva dei rifiuti urbani in Campania, come stimata dal Rapporto Rifiuti APAT/ONR, è stata nel 2005 di 2.806.112t (con un aumento del 7.6% rispetto al 2004) e nel 2006 di 2.880.386t (con un aumento del 2,6% rispetto al 2005). Si conferma pertanto una crescita continua della produzione di RSU che potrà essere limitata solo da interventi alla fonte a livello nazionale (progettazione ecosostenibile di prodotti, definizione di nuovi cicli di produzione, promozione di consumi sostenibili).

Della produzione totale di RSU in Campania nel 2006, 2.524.960t sono state raccolte in maniera indifferenziata, 29.249t sono ingombranti inviati a smaltimento e solo 326.178t (appena maggiori delle 298.750t del 2005) sono raccolte in maniera differenziata. Considerata la popolazione regionale di 5.790.187 abitanti, si valuta pertanto nel 2006 una produzione di rifiuti pro-capite di 497,5kg/(ab*anno). La percentuale di raccolta differenziata media regionale nel 2006 è pari all'11,30% (rispetto al 10,65% del 2005), pari quindi a circa 56,3kg/(ab*anno).

La produzione giornaliera di RSU è pari a 7891t/giorno, di cui 6917t/giorno di rifiuti indifferenziati inviati a trattamento e smaltimento, 81t/giorno di rifiuti ingombranti inviati a smaltimento e 893t/giorno di rifiuti differenziati inviati a riciclo.

Ad oggi, il sistema di trattamento e smaltimento dei rifiuti urbani in Regione Campania si articola (fonte: Piano regionale rifiuti urbani della regione Campania, ottobre 2007) su:

- sette impianti di trattamento meccanico biologico (MBT), per una capacità totale di trattamento di 7689t/giorno, localizzati in:
 - Pianodardine (AV) con capacità di 387t/g
 - Casalduni (BN) con capacità di 303t/g
 - S. Maria Capua Vetere (CE) con capacità di 1205t/g
 - Giugliano (NA) con capacità di 1290t/g
 - Caivano (NA) con capacità di 1734t/g
 - Tufino (NA) con capacità di 1415t/g
 - Battipaglia (SA) con capacità di 1355t/g
- discariche (in funzione o in procinto di entrare in funzione), quali quelle di Serre (SA), Terzigno (NA), Ferrandelle (CE), Savignano Irpino (AV), S. Arcangelo Trimonte (BN))
- siti di stoccaggio, dislocati sul territorio regionale, dove sono state messe finora in riserva circa 6milioni di tonnellate di ecoballe prodotte dagli impianti di trattamento meccanico-biologico
- una serie di dotazioni impiantistiche minori, quali aree di trasferimento, siti di stoccaggio comunali e intercomunali; stoccaggi provvisori autorizzati negli anni dalla struttura

commissariale per consentire il superamento delle diverse “fasi critiche”; gli impianti della filiera della raccolta differenziata (isole ecologiche, impianti di selezione, impianti di compostaggio)

Le cronache danno notizia della carenza cronica di volumi disponibili nelle discariche attive e dell’attesa continua di nuovi volumi in quelle in corso di allestimento, così come della difficoltà di trovare altri siti di stoccaggio dove collocare le ecoballe da mettere in riserva in attesa di un loro utilizzo come combustibile in impianti di termovalorizzazione per combustione diretta.

La criticità della situazione che ha portato alla crisi campana è schematicamente attribuibile ai seguenti fattori tecnici:

1. la capacità di trattamento nominale degli impianti di trattamento meccanico-biologico (noti anche come ex-CDR) è molto vicina al valore di produzione di rifiuti indifferenziati. Questo fa sì che qualsiasi interruzione nel servizio di uno qualsiasi dei sette impianti esistenti (per manutenzione ordinaria o straordinaria, per agitazioni sindacali, o per altre cause) determini il collasso del sistema e l’impossibilità di trattare la produzione giornaliera di rifiuti;
2. anche in presenza di un auspicabile ma improbabile funzionamento senza interruzioni e sempre a pieno regime degli impianti MBT, l’evidenza di questi anni di gestione mostra che da tali impianti si generano due prodotti:
 - un materiale che è stato declassato dal codice CER 191210 identificativo del combustibile derivato da rifiuti a quello CER 191212 identificativo della frazione secca;
 - un materiale che è stato declassato dal codice CER 190503 identificativo della frazione organica stabilizzata (FOS) a quello CER 190501 identificativo della frazione umida;
3. per entrambi questi materiali non esiste di fatto nessun processo di recupero di materia o di energia e si provvede ad uno stoccaggio più o meno definitivo: più precisamente la frazione umida va a discarica mentre quella secca viene inviata ad una messa in riserva in siti di stoccaggio. Ciò ha determinato la disperata e continua ricerca di nuovi siti per discariche o piazzole di messa in riserva, con le conseguenti note difficoltà di trovare luoghi adatti e liberi da vincoli legislativi e con le continue proteste delle popolazioni interessate;
4. nessuna frazione della raccolta differenziata è riciclabile al 100% e quindi anche da tale frazione inviata ai diversi processi di riciclo viene prodotta una parte non trascurabile di residui (in alcuni casi anche il 50%) che devono necessariamente essere inviati a discarica;
5. ciò significa che (si veda la Fig.1 relativa allo scenario “Status Quo: Massa di rifiuto”) occorrono siti di stoccaggio e discariche per quasi 6699t/d, cioè oltre l’85% dell’ammontare prodotto quotidianamente.

Le figure da 1 a 3 riportano l'analisi del flusso di materia per la situazione attuale, confermando quanto evidenziato dalle emergenze che si sono succedute in questi ultimi 12 anni: l'attuale sistema di gestione non è sostenibile perché manca di parti fondamentali che lo completino ed è comunque carente anche nelle parti presenti.

In particolare:

- la raccolta differenziata è poco diffusa e sottrae alla gestione dell'indifferenziato una parte troppo esigua della produzione complessiva di rifiuti. Le stesse aziende attive nella filiera del riciclo risentono negativamente di questa situazione per mancanza di "materia prima";
- l'impiantistica di recupero energetico, cui inviare la frazione secca residuale alla raccolta differenziata, è inesistente;
- l'impiantistica di trattamento biologico (anaerobico ed aerobico) è fortemente carente e parziale, tanto da penalizzare i Comuni che realizzano alte percentuali di raccolta differenziata della frazione organica. Non trovando impianti di trattamento in loco, essi sono costretti ad inviarli fuori regione a costi elevati;
- la condizione di emergenza continua impedisce nei fatti una progettazione e gestione delle discariche secondo i principi e le norme stabilite dalla Direttiva europea e dal D.Lgs. 36/2003. Ciò non contribuisce ad accrescere la fiducia dei cittadini in una possibile gestione trasparente e corretta dei siti di discarica che invece andrebbero visti come veri e propri impianti, da gestire con criteri di efficienza e managerialità;
- la comunicazione e l'informazione ai cittadini è carente in quantità e qualità e, quando presente, è raramente tempestiva. Ciò contribuisce ad accrescere il "fronte del no a tutto", che viene alimentato anche da notizie non corrette o parziali.

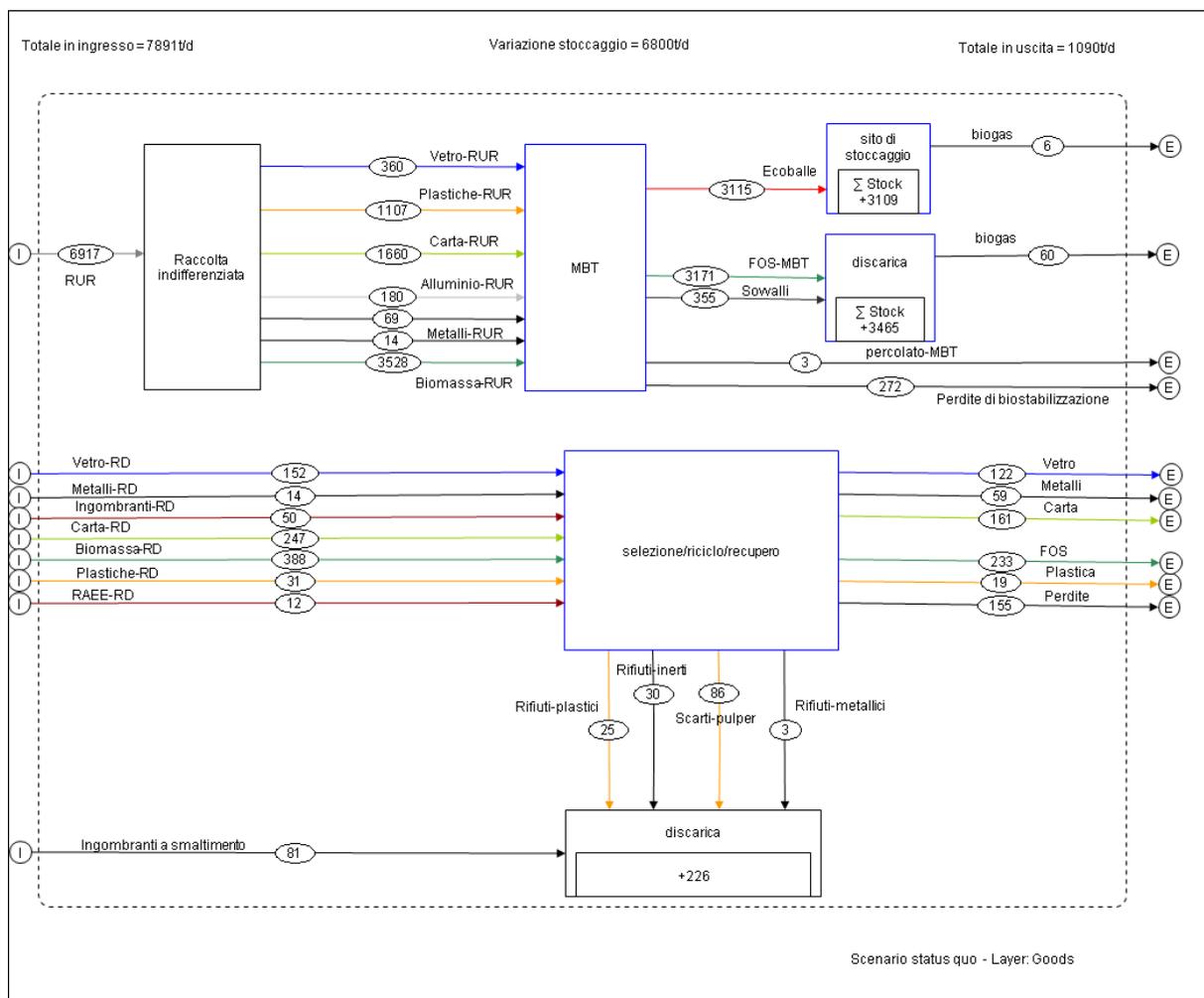


Figura 1 Bilancio di massa relativo allo scenario "status quo". Layer "massa di rifiuto".

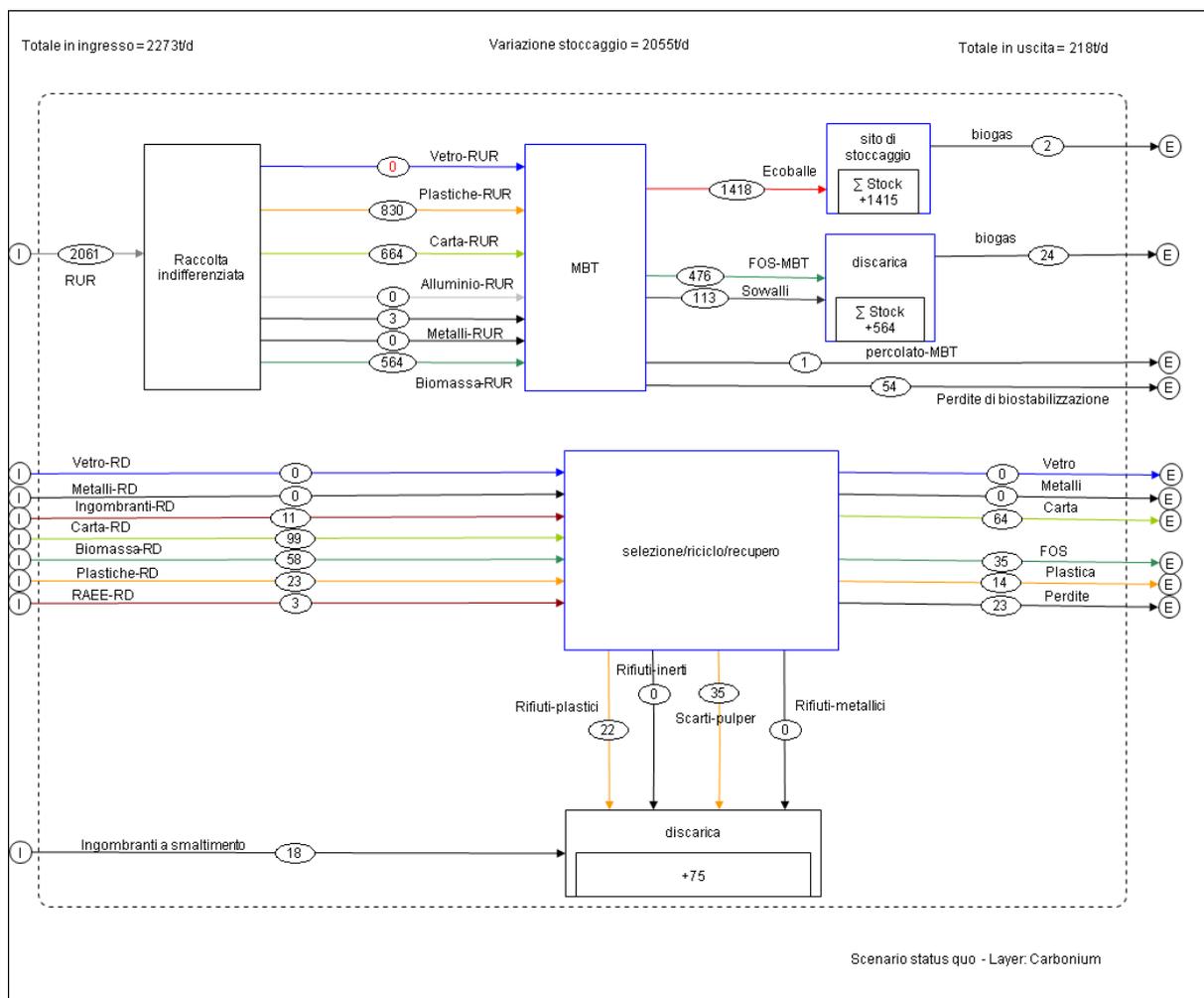


Figura 2 Bilancio di massa sul carbonio relativo allo scenario "Status quo"

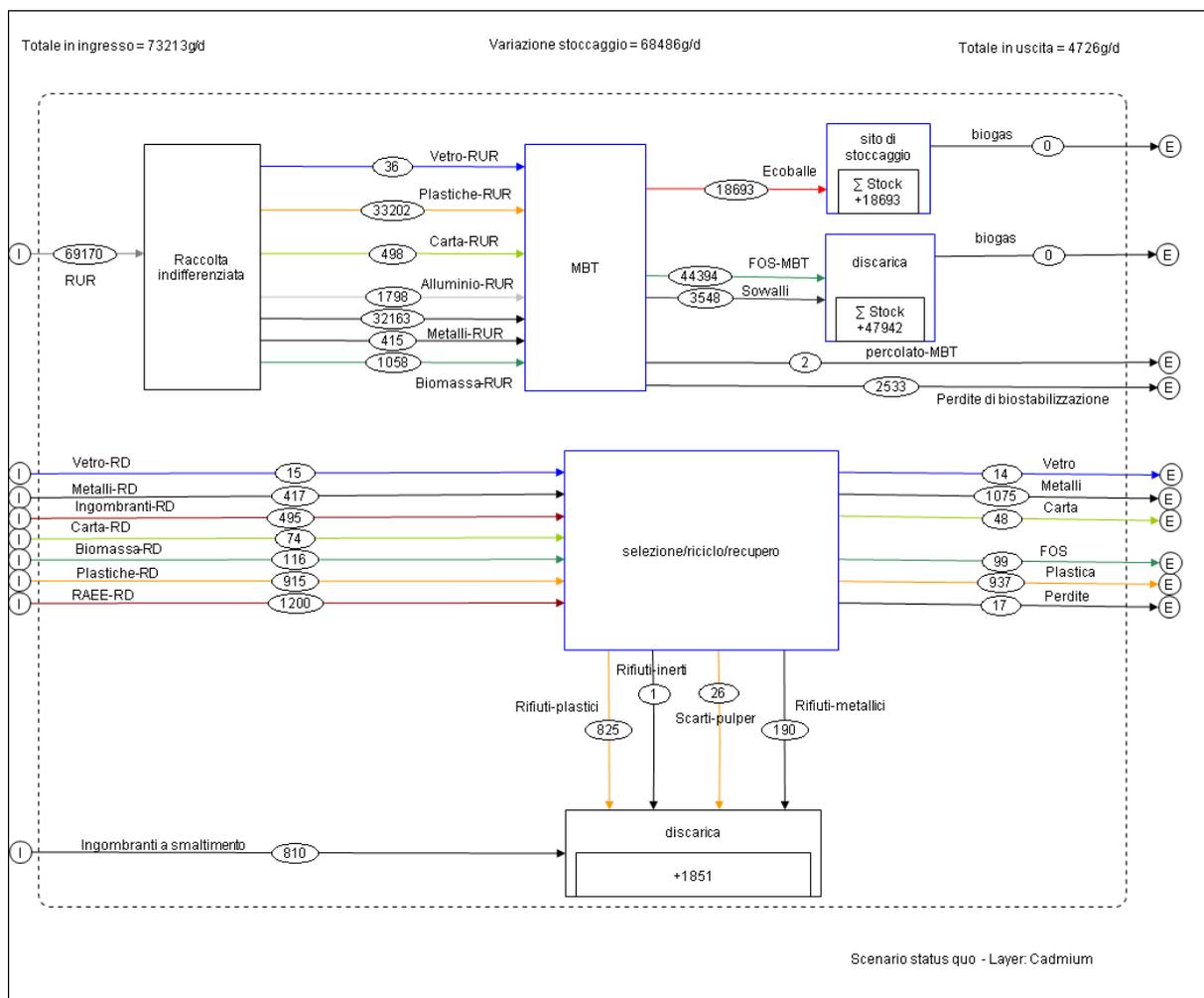


Figura 3 Bilancio di massa sull'elemento Cadmio relativo allo scenario "Status quo"

3 SCENARI FUTURI

Per soddisfare gli obiettivi della gestione rifiuti come definiti nel capitolo 1 è necessario:

1. ridurre massa, volume e pericolosità dei rifiuti;
2. riciclare la massima frazione possibile di rifiuti che sia economicamente ed ecologicamente sostenibile;
3. mineralizzare completamente le sostanze organiche contenute nei rifiuti non riciclati per evitare problemi successivi nelle discariche;
4. immobilizzare i costituenti dei residui della mineralizzazione;
5. smaltire i residui immobilizzati in siti adeguati, cioè formazioni geologiche dove i residui non richiedano trattamenti ulteriori.

Il nuovo sistema di gestione dei rifiuti per la Regione Campania deve quindi tener in conto tutti questi cinque aspetti. La procedura scelta per progettare e selezionare questo nuovo sistema è quella dell'analisi di scenari. Sulla base delle condizioni al contorno (quali il tipo e la quantità di rifiuto attualmente prodotto, la logistica della raccolta, l'impiantistica di trattamento e le discariche disponibili) nonché dei requisiti sopra riportati, si sono definiti e sviluppati alcuni scenari di gestione. Li si è poi valutati secondo criteri coerenti con gli obiettivi più volte richiamati ed i risultati sono stati infine confrontati con lo status quo.

Gli scenari esaminati tengono anche in conto le esperienze di sistemi di gestione rifiuti utilizzati con successo in Italia ed in Europa. In altri termini, si è assunto come speciale prerequisito quello di fare riferimento solo a tecnologie che non siano più allo stadio sperimentale e costituiscano un riferimento provato ed affidabile, con costi economici ed ambientali noti sia per la gestione operativa che per quella post-operativa.

I due set di scenari sviluppati si basano su una combinazione di:

- A. riciclo, trattamento meccanico-biologico, termovalorizzazione e conferimento in discarica;
- B. riciclo, termovalorizzazione e conferimento in discarica.

Ogni scenario A e B è stato ulteriormente suddiviso in ulteriori scenari (A1, A2, A3 e B1, B2, B3) che differiscono solo per la percentuale di rifiuti raccolti in maniera differenziata. Gli scenari sono descritti in dettaglio nel capitolo 3.2., mentre la procedura per la loro valutazione è riportata nel capitolo 4.

3.1 Motivazioni e giustificazione delle alternative

I principi delineati nella Direttiva Quadro 75/442/CE e nella Direttiva 2006/12/CE, a cui è necessario riferirsi nella definizione dei criteri generali alla base di ogni pianificazione in tema di rifiuti, sono stati utilizzati come riferimento per costruire i due scenari di gestione dei rifiuti solidi urbani della Regione Campania.

La costruzione degli scenari ha seguito un percorso articolato in cui la conoscenza dei processi adottati in Europa con successo da decenni si è coniugata con l'analisi delle soluzioni più recenti ed innovative in questo campo. La scelta di processi per trattare le diverse frazioni dei rifiuti solidi urbani è infatti ampia e le combinazioni di tali processi sono diverse. I tipi di processi e la loro interconnessione definiscono lo "scenario di gestione" dei rifiuti. Esso rappresenta quindi la sintesi delle scelte sia in termini gestionali (es. raccolta differenziata, separazione centralizzata di diverse frazioni del rifiuto) che in termini di processi (es. termici, biologici, chimico-fisici). Naturalmente la definizione di uno o più scenari non può prescindere da un esame approfondito delle tecnologie che possono poi praticamente ed efficientemente realizzare lo specifico processo e non può non tenere in conto l'esistenza di vincoli pre-esistenti sia di tipo tecnologico (ad es. impianti già esistenti o previsti) che normativo (ad es. leggi nazionali e/o regionali). La coniugazione delle analisi operate sui processi e sulle tecnologie con le considerazioni sui vincoli imposti costituisce l'ambito in cui gli scenari sono stati formulati.

Il numero di scenari da analizzare si è poi ridotto ai soli due (A e B) che consentono di:

1. minimizzare il ricorso alle discariche ed assicurare che non vi sia necessità di smaltire in discarica, mettere in riserva o stoccare per tempi incompatibili con la normativa vigente e con il rispetto dell'ambiente e della salute pubblica rifiuti che non siano inerti biologicamente oppure che contengano componenti pericolosi che possono migrare nell'ambiente attraverso i diversi comparti ambientali (aria, acqua, suolo) e generare danni alla salute dell'uomo oltre che danni all'economia del territorio (agricoltura, zootecnia, turismo, ecc.)³.
2. minimizzare il ricorso ad operazioni che implicino un consumo eccessivo di materie prime ed energia senza che vi sia un reale vantaggio ambientale complessivo. Approcci quali quelli dell'analisi dei flussi delle sostanze attraverso i sistemi gestionali considerati (SFA) e dell'analisi del ciclo di vita (LCA), che estende le valutazioni degli impatti sull'ambiente a tutti i processi esterni al sistema considerato (ma che sono ad esso collegati), sono stati ritenuti validi strumenti per garantire un esame corretto degli scenari di gestione;

³ Inertizzare i rifiuti organici (scarti dell'alimentazione, legno, carta, scarti vegetali, ...) è necessario per evitare generazione di cattivi odori, di microrganismi e di gas serra (metano) che contribuiscono a impatti locali e globali di rilevante importanza. Inertizzare i rifiuti inorganici è invece spesso necessario per evitare che alcune componenti di esso migrino verso diversi comparti ambientali inquinandoli ed entrando, di conseguenza, anche nella catena alimentare con potenziali effetti negativi sulla salute dell'uomo e degli animali.

3. massimizzare il recupero di materia, pur nel rispetto dei principi di cui al punto precedente;

4. massimizzare il recupero di energia, considerando che in un'ottica di ciclo di vita il recupero di energia da rifiuti consente una diminuzione del consumo di combustibili fossili ed una diminuzione delle emissioni complessivamente immesse in ambiente dall'insieme dei sistemi produttivi. Il recupero di energia tramite trattamenti termici (pirolisi, gassificazione, combustione) consente un ulteriore fondamentale vantaggio che è quello di poter separare le componenti inorganiche (cloro, bromo, cadmio, piombo, ecc.) dalla frazione organica (composta da carbonio, idrogeno, ossigeno) consentendo un loro riutilizzo o inertizzazione ed evitando così che esse si disperdano in ambiente o si accumulino nei prodotti (ad esempio quelli riciclati) raggiungendo concentrazioni pericolose.

Il raggiungimento di questi obiettivi deve inoltre essere realizzato ricorrendo a processi ad elevata efficienza e a tecnologie ad elevata affidabilità oltre che caratterizzate da semplicità di gestione e da bassi rischi connessi al loro utilizzo. In particolare, non si può escludere che processi e tecnologie che appaiano promettenti da alcuni punti di vista possano avere problemi legati alla gestione non essendoci un'esperienza operativa sufficiente. Se ciò si associa con potenziali danni di elevata magnitudo che potrebbero essere indotti da una scorretta gestione o anche solo da errori umani accidentali si comprende come si sia deciso di non considerare tali processi nella lista di quelli teoricamente possibili. Sono state inoltre escluse soluzioni non economicamente sostenibili per motivi intrinseci del processo, per motivi legati all'assenza di un reale mercato dei prodotti o perché realizzabili in dimensioni al di sotto di quelle che garantiscano un'economia di scala. Infatti, stabilire la tipologia dei processi da implementare in un determinato scenario, selezionare le tecnologie più adatte a ciascun processo da implementare, dimensionare ogni singolo impianto associando ad esso una potenzialità, serve a poco se non si mette il gestore nelle condizioni di poter operare l'impianto in modo da garantirne un corretto esercizio, una manutenzione programmata puntuale e la possibilità di operare miglioramenti tecnici (ad esempio, sui sistemi di contenimento delle emissioni) al passo con gli sviluppi tecnologici e le restrizioni normative.

In altre parole, pur avendo preso in esame ogni processo tecnicamente fattibile, sono stati esclusi dagli scenari quei processi che non consentano di rispettare i citati punti 1, 2, 3 e 4, che siano poco efficienti o rischiosi da esercire oppure di cui non vi sia una riconosciuta esperienza operativa in altri Paesi (o Regioni italiane) noti per avere una forte coscienza ambientale e una corretta e monitorata gestione dei rifiuti.

Le ragioni delle scelte operate sono quindi di natura tecnica, economica e gestionale e vanno tutte nella direzione di dotare la Regione Campania di impianti moderni ma al contempo sicuri, efficienti ed affidabili e la cui economia di esercizio assicuri al cittadino di questa Regione di poter contare su impianti che verranno correttamente gestiti, soprattutto con riguardo alla manutenzione e all'aggiornamento tecnologico eventualmente necessario, grazie a tariffe di smaltimento in linea con quelle di tutti i Paesi in cui i rifiuti costituiscono ormai una risorsa economica.

Tenendo presente quanto premesso si è partiti dal già citato scenario “status quo” che rappresenta lo scenario gestionale attuale. Si sono poi definite una serie di variazioni considerando l’implementazione di operazioni e processi già definiti in pianificazioni precedenti o già in corso di realizzazione (ad es. i termovalorizzatori di Acerra e Salerno). Ulteriori variazioni agli scenari sono state delineate con lo scopo di raggiungere gli obiettivi di cui all’elenco precedente e quindi di minimizzare il volume di discarica e massimizzare il recupero di materia e di energia. Si è così giunti a due scenari finali che vengono di seguito descritti in dettaglio, tenendo naturalmente presente quanto detto in precedenza, ed evitando di riportare la totalità di considerazioni specifiche che hanno condotto ad essi.

3.2 Descrizione degli scenari

Si è già detto che gli scenari di gestione dei rifiuti urbani individuati e quantificati in questo rapporto sono di due tipi, identificati con la lettera A e B, e differenti solo per la combinazione di trattamenti cui viene sottoposto il rifiuto indifferenziato (A: trattamento meccanico-biologico, termovalorizzazione e conferimento in discarica; B: termovalorizzazione e conferimento in discarica). Ciascuno di essi è stato ulteriormente suddiviso in scenari che differiscono solo per la percentuale di rifiuti raccolti in maniera differenziata. I valori di tale percentuale possono essere agevolmente cambiati, inserendo il dato ritenuto più adeguato nel modello di calcolo appositamente sviluppato per la redazione di questo rapporto. Il modello prevede che tutto ciò che non viene raccolto in modo differenziato venga inviato alla filiera di gestione del rifiuto indifferenziato.

Di seguito si descrivono gli scenari A e B con riferimento a “processi unitari”, ognuno dei quali può essere ulteriormente scomposto in sotto-sistemi e operazioni unitarie. Gli schemi dei sei scenari principali (A1-3 e B1-3) riportati successivamente fanno riferimento, per chiarezza di rappresentazione, ai soli processi unitari e riportano le portate delle correnti in ingresso e in uscita dai processi oltre alle quantità che si accumulano (in discariche o in siti di stoccaggio).

Lo **scenario A** è stato definito con l’ottica di completare il ciclo di gestione dei rifiuti realizzato solo molto parzialmente a valle del Piano regionale approvato nel 1997. Le conseguenze negative di questa “non chiusura” del ciclo sono state già evidenziate nel cap. 2.

Lo scenario A prevede la chiusura del ciclo attraverso:

- la realizzazione di impianti di conversione energetica del materiale combustibile prodotto dagli esistenti impianti MBT⁴ di trito-vagliatura e stabilizzazione biologica (noti in Regione Campania con il nome di impianti ex-CDR);

⁴ MBT = Mechanical Biological Treatment. Si tratta di impianti dove il rifiuto è tranciato, vagliato e sottoposto a operazioni di rimozione dei metalli ferrosi tramite magneti allo scopo di separare il rifiuto

- la realizzazione di impianti di trattamento delle frazioni raccolte separatamente che non rientrano in filiere (come quelle dei consorzi del CONAI) già sufficientemente dimensionate;
- la realizzazione di impianti di trattamento anaerobico della frazione organica⁵ del rifiuto raccolta in modo differenziato (di cui, in questo rapporto, sono state valutate potenzialità complessiva e numero di impianti). Per ottimizzare la resa energetica ed ambientale di tali impianti è indispensabile omogeneizzare i sistemi di raccolta differenziata in modo da garantire una elevata qualità della frazione organica che costituirà il substrato organico da sottoporre al processo biologico di digestione anaerobica. Se, e solo se, questo sarà di alta qualità (con basso grado di contaminazione da materiali non organici o addirittura tossici come le batterie o i detersivi) il processo biologico consentirà di ottenere biogas con rese piuttosto alte e il residuo solido (digestato) potrà eventualmente essere compostato ed immesso sul mercato (se esistente) come compost. In alternativa, tale digestato, previa stabilizzazione aerobica, potrà servire come materiale di ripristino senza alcun problema ambientale poiché stabile.

Il rifiuto residuale è inviato all'impianto MBT dal quale escono essenzialmente tre flussi: la frazione secca (con codice CER 19 12 10: combustibile derivato da rifiuti oppure CER 19 12 12: materiali misti, a seconda della sua composizione), la frazione umida stabilizzata (FOS⁶) e i rifiuti dell'impianto (ad es. percolato, fanghi, metalli, batterie, pneumatici, ecc.).

La frazione secca è inviata a recupero energetico in un impianto di combustione corredato dalle necessarie apparecchiature di recupero energetico e di trattamento delle emissioni gassose, liquide (se presenti) e solide. I rifiuti solidi prodotti da un tale impianto di termovalorizzazione per combustione sono (figura 5): a) le ceneri volanti, separate dalla corrente di effluenti gassosi prima dell'immissione in atmosfera tramite i sistemi di depolverazione; b) le scorie di fondo, scaricate dal forno di combustione e costituite dalla

organico non biodegradabile (plastica, carta, tessuti) da quello inorganico (ferro, alluminio, vetro) e da quello organico putrescibile/biodegradabile (scarti di cibo, verde).

⁵ L'incremento della raccolta differenziata della frazione organica putrescibile del rifiuto è economicamente ed ambientalmente insostenibile se prima non si realizzano gli impianti che devono poi trattare o recuperare tale frazione all'interno della Regione Campania. Non si può infatti continuare ad inviare a impianti extra-regionali, distanti anche centinaia di chilometri, tale frazione con irragionevoli costi economici ed ambientali. Inoltre l'aumento della raccolta porterebbe a rapida saturazione della potenzialità disponibile con la conseguente impossibilità di avviare al dovuto trattamento la frazione raccolta. Ciò, in un clima caldo ed umido come quello della Regione Campania, causerebbe disagi e, per tempi di stoccaggio maggiori di 3-5 giorni, problemi sanitari ed ambientali.

⁶ FOS = Frazione Organica Stabilizzata. Si tratta della frazione risultante dal trattamento biologico (sia aerobico che anaerobico) costituita dalla parte inerte, ossia non biodegradabile del rifiuto organico, e dai microrganismi sintetizzati durante il processo biologico stesso. Nella realtà la stabilizzazione del rifiuto organico all'uscita dei bioreattori dell'impianto MBT è solo parziale in quanto il tempo non è sufficiente a operare una fase di vera e propria maturazione che consentirebbe la reale stabilizzazione.

frazione inorganica non combustibile contenente materiale misto (metalli, vetro, ceramica, ecc.). Mentre le scorie del forno sono tipicamente inviabili in discarica dopo il solo recupero dei metalli poiché costituite da materiale inerte e non “percolabile”, le ceneri volanti sono invece trattate in loco o in apposite piattaforme che le inertizzano bloccando la possibilità che composti pericolosi (ed in granulometria molto fine) possano migrare nei comparti ambientali e raggiungere target sensibili. Naturalmente il processo di “blocco” fa aumentare considerevolmente peso e volume del rifiuto da conferire in discarica e di ciò si è tenuto debitamente conto.

La frazione umida separata dall’impianto MBT è inviata a trattamento biologico aerobico in vasche aerate dove raggiunge, dopo un tempo che non dovrebbe essere inferiore ai 20 giorni (rispetto ai 7 giorni di permanenza attuale in tali vasche), un certo grado di stabilizzazione, che non la classifica ancora come inerte poiché manca la fase di maturazione. A tal riguardo va evidenziato che un possibile *revamping* degli impianti MBT, se mai si decidesse di attuarlo, dovrebbe riguardare soprattutto la fase di separazione delle frazioni inorganiche dalla frazione organica biodegradabile e la fase di stabilizzazione aerobica di quest’ultima. I calcoli elaborati sulla base di dati tratti da documenti ufficiali (come il Piano Regionale dei Rifiuti del 2007 ed i MUD degli impianti ex CDR forniti da Arpac) indicano che la frazione organica non viene affatto stabilizzata e che è tanto contaminata da vetro e metalli che il suo ammontare in uscita è addirittura maggiore di quello in ingresso.

Lo scenario A prevede che l’impianto MBT funzioni correttamente e quindi produca FOS e non materiale contaminato non stabilizzato come succede nello scenario dello status quo⁷. Questa FOS non potrà comunque essere utilizzata come compost o ammendante poiché, pur migliorando la separazione meccanica, non potrà avere caratteristiche qualitative tali da consentire lo spargimento sul suolo. Va quindi indirizzata in discarica o a termovalorizzazione⁸ come compost fuori norma.

Lo scenario A1 (figure 5-7) si riferisce alla situazione in cui il 35% del rifiuto urbano è stato raccolto in maniera differenziata. Il rifiuto proveniente dalla raccolta indifferenziata è quindi avviato all’impianto meccanico-biologico dal quale esce una frazione di combustibile derivato da rifiuti, costituito essenzialmente da plastiche, carta, tessili, frazione organica umida non separata, una frazione organica stabilizzata tramite digestione aerobica, una frazione di rifiuto costituita da fanghi, percolato, metalli non riciclabili, ecc. Il CDR è invece inviato a termovalorizzazione in impianti con forni a griglia raffreddata ad acqua in grado di bruciare efficientemente anche CDR fuori norma (più simile ad un rifiuto urbano tal quale che ad un combustibile derivato da rifiuti di qualità) ed eventualmente la FOS. Quest’ultima è infatti avviata in discarica ma, come si può chiaramente notare dal valore che giornalmente occorre

⁷ Nello scenario “status quo” ciò che viene definito FOS in realtà è un rifiuto definito “parte di rifiuto urbano” a cui è associato un codice CER 19 05 01 e che costituisce più del 50% dei quantitativi in uscita dagli impianti ex CDR.

⁸ La considerazione che la FOS non abbia altro destino se non la discarica o la termovalorizzazione, considerata anche l’eventuale produzione di compost di buona qualità dagli impianti che trattano biologicamente la frazione organica biodegradabile da raccolta differenziata, ha portato alla definizione dello scenario B.

conferire in discarica, sarebbe indubbiamente meglio avviare la FOS a combustione in considerazione della notevole riduzione di volume e di massa ottenibili in questa maniera ma anche della possibilità di abbassare il potere calorifico del CDR che, se troppo elevato, non è adatto ad essere bruciato in un forno a griglia.

Per quanto riguarda la filiera di recupero/riciclo del rifiuto differenziato va ricordato che le filiere (selezione + riprocessazione) del riciclo della carta, della plastica, dei metalli, dei rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE), dei rifiuti ingombranti e quella di recupero della frazione organica non hanno efficienza unitaria. Ne deriva che da ognuna di esse si produce una corrente di rifiuto da conferire in discarica in quanto inerte ma che, in parte, può essere utilmente termovalorizzata essendo costituita da alcune frazioni combustibili (plastiche non riciclabili, scarti di pulper e FOS proveniente dagli impianti di digestione anaerobica). Si è pertanto ipotizzato che perlomeno i residui della filiera di riciclo della carta e della plastica siano mandati a termovalorizzazione assieme al CDR.

Lo scenario A2 mostra la variazione dei flussi (figure 8-10) nel caso in cui si raggiunga il 25% di raccolta differenziata. Anche tale valore, come il precedente 35%, è da considerarsi medio tra quelli realmente ottenibili per ogni frazione di rifiuto. E' infatti indubbio che si può incrementare notevolmente il valore di raccolta separata della carta, del vetro e della frazione organica (sempre che sia realizzata la necessaria logistica di raccolta e stoccaggio) mentre non è ragionevole ritenere di poter aumentare molto quella delle frazioni a più bassa densità (plastica) o percentualmente poco rilevanti (metalli). Tali considerazioni valgono ancor più per lo scenario A3 (figure 11-13) per il quale, per ottenere un valore medio del 65% di raccolta differenziata, si sono ipotizzati valori veramente elevati (e probabilmente difficilmente realizzabili) per le plastiche (50%) e per i metalli (50%) ma anche per la frazione "altro" che comprende ingombranti a recupero e RAEE.

Lo **scenario B** rappresenta invece una radicale inversione di rotta rispetto al Piano del 1997 e propone una drastica semplificazione del ciclo dei rifiuti, una notevole riduzione del rischio di blocco del ciclo stesso oltre che una forte riduzione del suo costo economico e sociale. E' caratterizzato dalla scelta di eliminare il passaggio attraverso gli MBT ovvero di operare la termovalorizzazione del rifiuto tal quale affidando alla raccolta differenziata il compito di separare quanto possibile la frazione organica adatta ad essere trattata biologicamente, la plastica, la carta e i metalli nonché soprattutto i RUP, gli ingombranti e i RAEE. In questo modo:

1. si elimina il ricorso a impianti che andrebbero comunque ammodernati e che in realtà non permettono alcun recupero di materia né reali diminuzioni di massa o volume o pericolosità dei rifiuti;
2. il forno a griglia mobile raffreddata ad acqua selezionato per Acerra e per gli altri termovalorizzatori necessari è la tecnologia preferibile per bruciare il rifiuto tal quale mentre potrebbe potenzialmente avere difficoltà a bruciare CDR;

3. i termovalorizzatori con forni a griglia sono adatti anche a bruciare i rifiuti delle operazioni di riciclo/recupero che ovviamente aumentano con l'aumentare della raccolta differenziata nonché altri materiali, quali il compost fuori norma, il digestato dei digestori anaerobici e alcuni rifiuti speciali non pericolosi.

D'altra parte la combustione del rifiuto tal quale comporta una maggiore produzione di scorie poiché i rifiuti inerti quali metalli, vetro e alluminio vengono rimossi preliminarmente solo dalla raccolta differenziata domestica. In ogni caso essi verranno inviati a discarica come scorie anziché come rifiuti dell'MBT e ciò non comporta differenze apprezzabili, soprattutto in termini di volumi di discarica da usare.

Oltre allo scenario A e B sono stati sviluppati (e non riportati in questo rapporto) anche altri scenari tra i quali quello che avvia a termovalorizzazione tutta la FOS e tutti gli scarti combustibili prodotti dalle filiere del riciclo/recupero. Le *performance* ambientali di tale scenario non sono molto dissimili da quelle dello scenario B poiché si garantisce il massimo recupero energetico da ogni rifiuto combustibile e la minimizzazione della volumetria occupata in discarica. Lo scenario B, però, offre il vantaggio di minimizzare le movimentazioni di rifiuti e i costi dei vari trattamenti.

Anche per lo scenario B sono state fatte tre ipotesi sull'entità di raccolta differenziata conseguita (si vedano le figure 17-28), che permettono di valutare le potenzialità ed il numero degli impianti necessari sia per termovalorizzare il rifiuto che per recuperare le frazioni raccolte differenziatamente.

La Tabella 1 mostra i valori utilizzati per stimare i flussi delle singole correnti in ingresso a tutti i citati scenari A e B.

SCENARI DI GESTIONE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI IN REGIONE CAMPANIA

	Organico	Carta	Vetro	Plastica	Metalli	Alluminio	Legno	Altro	Totale
raccolta differenziata, t/giorno	321	247	152	31	14	*	66	63	893
raccolta indifferenz., t/giorno	1915	1712	367	1147	143	183	56	1475	6998
raccolta RSU, t/giorno	2236	1959	519	1178	157	183	122	1538	7891
composizione del RSU, %	28	25	7	15	2	2	2	19	100
frazione di raccolta differenziata, %	14	13	29	3	9	0	54	3	11
SCENARIO A1, B1									
frazione di raccolta differenziata, %	50	40	35	30	30	30	15	15	35
raccolta differenziata, t/giorno	1118	784	182	353	47	55	18	231	2787
raccolta indifferenziata residuale (RUR), t/giorno	1118	1175	337	824	110	128	103	1307	5104
composizione della RD, %	40	28	7	13	2	2	1	8	100
composizione del RUR, %	22	23	7	16	2	3	2	26	100
SCENARIO A2, B2									
frazione di raccolta differenziata, %	40	30	30	15	15	15	15	8	25
raccolta differenziata, t/giorno	895	588	156	177	23	28	18	123	2007
raccolta indifferenziata residuale (RUR), t/giorno	1342	1371	363	1001	133	156	103	1415	5884
composizione della RD, %	45	29	8	9	1	1	1	6	100
composizione del RUR, %	23	23	6	17	2	3	2	24	100
SCENARIO A3, B3 "valore da raggiungere per la Legge italiana entro il 2012"									
frazione di raccolta differenziata, %	70	70	70	50	50	50	50	65	65
raccolta differenziata, t/giorno	1565	1371	363	589	78	92	61	1000	5119
raccolta indifferenziata residuale (RUR), t/giorno	671	588	156	589	78	92	61	538	2772
composizione della RD, %	31	27	7	12	2	2	1	2	100
composizione del RUR, %	24	21	6	21	3	3	2	19	100

Tabella 1 Dati di input ed elaborati per la costruzione degli scenari futuri identificati con le sigle A1, A2, A3, B1, B2, B3.

4 VALUTAZIONE

Le due serie di scenari sviluppati nel capitolo 3 sono stati valutati secondo criteri coerenti con i citati obiettivi della gestione rifiuti. I valori numerici assegnati ai diversi scenari derivano dalla letteratura tecnico-scientifica disponibile (si vedano le fonti citate in Bibliografia) e da valutazioni dettate dall'esperienza. Per garantire compatibilità e consistenza tra tutti gli scenari, si sono sviluppati bilanci di massa per ogni scenario, seguendo ogni corrente di rifiuto attraverso l'intero sistema di gestione (raccolta, trattamento, riciclo) fino allo smaltimento finale in discarica o reimmissione nel circuito dei beni di consumo.

4.1 Criteri

Poiché va al di là degli scopi e delle risorse di questo rapporto sviluppare un'analisi di scenari esaustiva, si è scelto un approccio esemplare per la valutazione degli scenari, selezionando alcuni criteri in grado di rappresentare al meglio i più volte richiamati obiettivi della gestione rifiuti. Va da sé che un dettagliato e onnicomprensivo *array* di criteri avrebbe prodotto un più completo e solido quadro valutativo, anche se, nel selezionarne solo alcuni, è stata posta l'enfasi sulla affidabilità dei risultati finali.

La prima e più importante questione nel selezionare i criteri è: quali indicatori descrivono meglio se e come gli obiettivi di un certo sistema di gestione dei rifiuti sono stati raggiunti? La risposta dipende dall'obiettivo che si prende in esame, è cioè "*goal specific*".

Per l'obiettivo "protezione della salute umana e dell'ambiente", materiali pericolosi quali metalli pesanti e sostanze organiche tossiche e persistenti sono da considerare indicatori appropriati. Poiché però non è la mera presenza di una sostanza che crea il pericolo, è importante seguirla attraverso il sistema di gestione dei rifiuti e controllare se, lungo o alla fine del percorso, essa si accumuli e/o abbia impatti negativi sulla salute umana o sull'ambiente. Il principio della conservazione della massa così come applicato nell'analisi dei flussi di materia è strumentale ad osservare tutti i flussi delle diverse sostanze ed il loro accumulo o trasformazione in altri composti. Sempre per l'obiettivo "protezione della salute umana e dell'ambiente", un indicatore importante può essere anche il volume perché il trasporto di rifiuti e l'uso del territorio per collocarvi discariche hanno anch'essi rilevanti impatti sull'ambiente. Il carbonio come causa di cambiamenti climatici è un altro indicatore rilevante, poiché diversi studi mostrano che l'ottimizzazione della gestione dei rifiuti può determinare una riduzione sensibile nelle emissioni di gas serra.

Con riferimento all'obiettivo "conservazione delle risorse", è importante tenere in conto l'energia e risorse quali metalli e biomasse. Anche i volumi di rifiuti e residui risultano critici dovendo considerare il territorio come una risorsa. C'è inoltre un forte legame tra "conservazione delle risorse" e "protezione della salute umana e dell'ambiente": l'effetto più rilevante sulla protezione dell'ambiente è probabilmente determinato dal riciclo, che è in grado di sostituire risorse primarie. Poiché i processi di estrazione e di lavorazione dei minerali sono di solito associati ai più grossi impatti ambientali all'interno dell'intero ciclo di

vita di un materiale, la sostituzione di minerali primari con risorse secondarie ottenute dal riciclo ha la possibilità di ridurre fortemente l'inquinamento complessivo.

Nella selezione dei criteri e degli indicatori è importante verificare la loro rilevanza complessiva. Alcuni materiali sono più importanti di altri per la gestione rifiuti. Per alcuni metalli pesanti quali mercurio e cadmio, il rapporto dei flussi di massa nei RSU rispetto a quelli nelle importazioni totali nazionali è elevato e può arrivare fino al 50%. Quindi, su scala nazionale, i rifiuti urbani costituiscono un importante vettore di sostanze pericolose quali il mercurio (Hg) ed il cadmio (Cd): ne consegue l'importanza di assicurare che tutte le fasi di raccolta, trattamento, riciclo e smaltimento finale gestiscano questi metalli pesanti con cura e li riciclino in sicurezza con un'alta percentuale di recupero o li trasferiscano a siti finali sicuri. Altri elementi, come azoto, fosforo e zolfo attraversano le fasi di gestione rifiuti con basse percentuali. Quindi, in una prospettiva nazionale, la loro importanza è limitata sia per la protezione ambientale che per la conservazione delle risorse.

Tenendo presente le ragioni appena elencate, gli indicatori che sono stati selezionati per la valutazione degli scenari sono: **flusso di massa, volume, energia, carbonio e cadmio**. Di seguito se ne riportano schematicamente le motivazioni.

I *flussi di massa* determinano l'ammontare e la potenzialità delle *facilities* di raccolta, trattamento e smaltimento dei rifiuti. Seguire i flussi consente di identificare l'impatto che i cambiamenti in un sistema di gestione hanno sui vari elementi del sistema: un maggior ricorso al riciclo riduce non solo la necessità di capacità di trattamento per termovalorizzazione ma anche quella di successivo smaltimento finale a discarica. D'altra parte, maggior riciclo implica nuovi rifiuti (quelli prodotti dalla filiera del riciclo) che a loro volta richiedono nuovi trattamenti e capacità di smaltimento. Solo un approccio che utilizzi il flusso di massa può tenere in conto tutti gli effetti di un cambiamento in uno scenario di gestione rifiuti, e fornisce un quadro complessivo della capacità totale di impianti necessari.

Alla stessa maniera, il *volume* è cruciale per la raccolta, il trattamento e lo smaltimento finale. Poiché lo spazio per discariche è scarso e la loro realizzazione è spesso contrastata dalle popolazioni interessate, il volume diviene un parametro importante in special modo per il conferimento a discarica. Naturalmente esso svolge un ruolo cruciale anche per i trasporti.

Il contenuto di *energia* del rifiuto in generale, ed in particolare di frazioni quali la plastica e i rifiuti di legno, può essere rilevante: è quindi importante includere l'energia come criterio di valutazione. In alcuni processi di trattamento, quali quelli di termovalorizzazione (*waste-to-energy*), si recuperano percentuali elevate di energia: dal 60 al 70% se il prodotto utilizzato è il calore; dal 15 al 25% dell'energia contenuta nel rifiuto se l'output è l'energia elettrica. Per altro verso, durante il compostaggio (o digestione aerobica) il contenuto energetico del rifiuto non viene recuperato ed il carbonio è ossidato ad anidride carbonica senza impiegare l'energia prodotta dal processo. La digestione anaerobica invece genera metano che è usato come combustibile e consente quindi il recupero di parte dell'energia contenuta nel rifiuto.

Il *Carbonio* è un indicatore di potenziali risorse (energia, biomassa) ma anche di pericolo ambientale (gas serra, sostanze organiche tossiche e persistenti). Per distinguere questi aspetti è necessario conoscere in quali specie il carbonio sia presente. Per ciò che riguarda

l'input, la differenza è rilevante a seconda che il carbonio sia in polimeri sintetici (plastiche) che non sono degradabili se non in tempi lunghi o condizioni estreme, in cellulosa (carta e rifiuto di cibo) che è biodegradabile e può essere usata in trattamenti biochimici per produrre energia e materia, o in composti organici pericolosi che devono invece essere trattati in maniera speciale. Per ciò che riguarda l'output, l'obiettivo principale è trasformare i composti organici pericolosi in sostanze innocue come la CO₂. Altri obiettivi, come già discusso, sono la produzione di energia e la mineralizzazione a CO₂.

Il *Cadmio* è un elemento indicatore dei metalli tossici. Si è già ricordato che gran parte del cadmio (utilizzato come additivo importante nei beni plastici durevoli dagli anni '70 ai '90) attraversa la filiera della gestione rifiuti. Esso è quindi da considerare un elemento di elevata pericolosità da tenere in conto in ogni valutazione di gestione rifiuti. Serve ad indagare se uno specifico sistema di gestione rifiuti sia in grado di concentrare quest'elemento conservativo (cioè, "non distruttibile") in frazioni dove esso non possa causare problemi alla salute pubblica e all'ambiente. A causa delle sue proprietà chimico-fisiche (ad es, il basso punto di ebollizione) il cadmio agisce come altri metalli atmosferici, quali zinco, stagno ed antimonio.

Altri importanti criteri non sono stati presi in considerazione in questo lavoro: benché l'*igiene* sia l'aspetto più importante di una gestione rifiuti, essa non è stata inclusa perché tutti i moderni sistemi di raccolta, trattamento e smaltimento di rifiuti soddisfano pienamente i requisiti di salvaguardia della salute pubblica. Le emissioni di *diossine*, che costituivano in passato il principale problema del trattamento termico di rifiuti, non sono state prese in considerazione perché, già dagli anni '90, i moderni impianti di termovalorizzazione sono dotati di fornaci e di sistemi di controllo dell'inquinamento atmosferico che minimizzano le emissioni di diossine ad un livello trascurabile, ben al di sotto di quello di altre attività antropiche. I livelli di *acidificazione* e *eutrofizzazione* indotti da sorgenti quali agricoltura e sistemi di trattamento delle acque di scarico sono ordini di grandezza più grandi di quelli determinati dalla gestione rifiuti e sono stati quindi trascurati. Lo stesso si può affermare per il *potenziale di formazione dell'ozono*, trascurabile se confrontato con altre cause; il *potenziale di riduzione dell'ozono stratosferico* è invece in parte considerato all'interno del flusso di carbonio. Le *sostanze organiche* sono anch'esse solo parzialmente considerate nel flusso del carbonio. I *metalli* di valore, quali il rame, l'alluminio ed il ferro non sono inclusi come criteri ma tenuti in conto nei tassi di riciclo.

4.2 Dati

4.2.1 Produzione di RSU e loro composizione

Si è già detto nel cap. 2 che l'attuale gestione dei rifiuti solidi urbani prevede una raccolta differenziata a livello domestico e una successiva separazione meccanica associata ad un trattamento biologico sul rifiuto "residuale" alla raccolta differenziata (RUR).

Per costruire e quantificare lo scenario di riferimento (*status quo*) è stato necessario acquisire ed elaborare dati relativi alla produzione pro-capite degli RSU, alla loro composizione merceologica, alla composizione e all'ammontare del rifiuto differenziato alla fonte e alla composizione dei flussi dei rifiuti prodotti dagli impianti MBT. Le tabelle seguenti riportano i dati utilizzati per quantificare lo scenario di gestione attuale e quelli ipotizzati per la gestione futura.

La tabella 2 riporta i dati desunti dal Rapporto Rifiuti APAT/ONR 2007 già citati nel cap. 2.

Produzione RSU	t/giorno
Rifiuti indifferenziati	6917
Rifiuti ingombranti a smaltimento	81
Rifiuti da raccolta differenziata	893
Totale RSU prodotti	7891

Tabella 2 Produzione dei rifiuti solidi urbani in Campania nel 2006, con ripartizione tra la portata raccolta in modo differenziato e quella indifferenziata. (Fonte: Rapporto Rifiuti Apat/ONR 2007)

Le 893t/giorno di rifiuti da raccolta differenziata, sono, sempre sulla base del citato Rapporto Apat/ONR, così suddivise nelle diverse frazioni merceologiche:

Composizione merceologica della raccolta differenziata	t/giorno	% sul differenziato
frazione organica + verde	321,1	35,9
carta e cartone	247,2	27,7
vetro	152,0	17,0
legno	56,5	6,3
plastiche	30,5	3,4
metalli	13,9	1,6
tessili	11,9	1,3
RAEE	11,1	1,2
ingombranti a recupero	48,5	5,4
raccolte selettive (medicinali, batterie, vernici, ecc)	0,6	0,1
TOTALE Raccolta Differenziata	893,3	100,0

Tabella 3 Composizione merceologica del rifiuto differenziato in Campania nel 2006. (Fonte: Rapporto Rifiuti APAT/ONR 2007)

La tabella 4 riporta la composizione merceologica del rifiuto residuale (RUR) alla raccolta differenziata, ricavata da campioni in ingresso all'impianto di Caivano nel mese di luglio 2007⁹.

Composizione merceologica della raccolta indifferenziata (ex CDR di Caivano, 2007)	%	t/giorno
vetro	5,20	360
plastiche	16,00	1107
carta e cartone	24,00	1660
alluminio	2,60	180
metalli	0,20	14
biomassa	51,00	3528
altro	1,00	69

Tabella 4 Analisi merceologica del rifiuto residuale in ingresso all'impianto MBT di Caivano

La tabella 5 riporta i dati in uscita dai sette impianti MBT della Regione Campania che trattano circa il 90% del rifiuto urbano prodotto¹⁰. Essi, come si evince chiaramente dalla tabella, sono anche sensibilmente diversi per i vari impianti. Si è deciso pertanto di usare i valori medi pesati sulle portate di rifiuto trattate, tenendo comunque in conto l'intervallo di variabilità.

⁹ Fonte: Rapporto ARPAC-Divisione Tecnica Servizio Emergenze Ambientali dal titolo "Dati flussi di rifiuti 2007 per tutti gli impianti ex CDR tranne Tufino", 2008

¹⁰ Fonte: Rapporto Arpac-Div. Tecnica Servizio Emergenze Ambientali –"Dati flussi di rifiuti 2007 per tutti gli impianti ex CDR tranne Tufino", 2008

**SCENARI DI GESTIONE DI RIFIUTI SOLIDI URBANI IN
REGIONE CAMPANIA**

Codice C.E.R./IMPIANTO MBT (ex CDR)	Battipaglia (SA)	Pianodardine (AV)	Giugliano in C. (NA)	Casalduni (BN)	Caivano (NA)	S.Maria C.V. (CE)	TOTALE t/anno	TOTALE t/giorno	%
08 03 18 - Toner per stampa esauriti, diversi da quelli di cui alla voce 08 03 17	0	0	0	0	0	0		0,0	0,0000
13 02 08 - Altri oli per motori, ingranaggi e lubrificazione	0	3	0	0	0	2	5	0,0	0,0002
16 01 03 - Pneumatici usati fuori uso	0	26	0	55	0	24	106	0,3	0,0044
16 01 16 - Serbatoi per gas liquido	0	1	0	0	0	0	1	0,0	0,000043
16 06 01 - Batterie al piombo	0	2	0	0	0	0	3	0,0	0,00011
17 04 05 - Ferro e acciaio	0	0	0	20	0	0	20	0,1	0,00084
19 05 01 - Parte di rifiuti urbani e simili non compostata	200.846	102.278	241.422	98.938	315.828	217.883	1.177.195	3.225,2	49,14
19 07 03 - Percolato di discarica, diverso di quello di cui alla voce 19 07 02	26.310	627	33.900	9.504	4.998	21.858	97.199	266,3	4,06
19 08 14 - Fanghi prodotti da altri trattamenti delle acque reflue industriali, diversi da quelli di cui alla voce 19 08 13	0	34	0	22	51	0	107	0,3	0,0045
19 12 02 - Metalli ferrosi	1.373	1.799	1.350	881	2.476	1.559	9.437	25,9	0,39
19 12 12 - Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11	200.479	115.806	198.463	105.251	307.991	181.429	1.109.419	3.039,5	46,31
20 03 04 - Fanghi delle fosse settiche	0	0	33	29	1.839	0	1.902	5,2	0,079
20 03 07 - Rifiuti ingombranti	12	0	42	132	50	14	250	0,7	0,010
TOTALE	429.020	220.578	475.210	214.833	633.233	422.769	2.395.643	6563,41	100

Tabella 5 Rifiuti in uscita dai diversi impianti MBT (ex CDR) suddivisi per codice C.E.R., riferiti all'anno 2007

4.2.2 Trattamento aerobico della frazione organica separata meccanicamente dai RSU negli impianti ex CDR

La frazione organica separata meccanicamente negli impianti MBT è inviata a trattamento aerobico in vasche aerate dove avviene una stabilizzazione biologica per ottenere una frazione organica stabilizzata (FOS). Nella situazione reale degli impianti campani risulta che la stabilizzazione è attualmente (scenario *status quo*) tanto inefficiente che la frazione in uscita dalle vasche aerobiche non è ad oggi classificabile come FOS ma come “parte di rifiuti urbani e simili non compostata” a cui è associato il CER 19 05 01.

Volendosi porre nella condizione del set di scenari A in cui questi impianti riescano a stabilizzare la frazione organica biodegradabile separata dai sistemi meccanici occorre stimare a quanto corrisponde la potenziale perdita in peso.

Stima della perdita in peso durante la digestione aerobica. Durante un trattamento biologico aerobico si ha la trasformazione della parte volatile del rifiuto organico in biomassa microbica e in prodotti metabolici di rifiuto (perdite gassose). Per poter stimare l'effettiva perdita di peso ottenibile da un trattamento aerobico di tal tipo occorre conoscere l'analisi immediata del rifiuto (ovvero la suddivisione in sostanza secca (SS), acqua e inerti) e l'ulteriore suddivisione della frazione secca in solidi volatili (SV) e non. Inoltre occorre anche stimare il coefficiente di resa biochimica biomassa/substrato ($Y_{X/S}$) per poter calcolare quanta parte della sostanza volatile (ovvero quella che è effettivamente e realmente biodegradabile dai microrganismi) si trasforma in biomassa (e contribuisce alla FOS) e quanta in metaboliti gassosi di rifiuto. Tutti questi dati sono stati ricavati dalla letteratura, elaborati e riassunti nella seguente tabella 6.

Dai dati di output riportati nella seconda parte della tabella si vede che la FOS dovrebbe essere circa il 65% in massa della FORSU di partenza. Questi dati consentono di calcolare quale è il reale beneficio del ricorso alla stabilizzazione biologica in un impianto integrato MBT.

FORSU	1000t/g
analisi immediata, %peso	
Solidi secchi (SS/FORSU)	73,0%
Solidi volatili (SV/SS)	68,0%
Acqua	21,0%
inerti	6,0%
resa biomassa/substrato ($Y_{X/S}$)	0,3
rForsu	496,4t/g
iForsu	233,6 t/g
acqua	210,0 t/g
inerti	60,0 t/g
biomassa sintetizzata	382,5 t/g
acqua	210,0 t/g
inerti	60,0 t/g
perdite gassose (catabolismo)	347,5 t/g

composizione FOS		
acqua	32%	
solidi totali	68%	
sv/ss	40%	
inerti/ss	60%	
acqua	210,0 t/g	21%
sv-FOS	177,0 t/g	18%
i-FOS	265,0 t/g	27%
TOTALE FOS	652,5 t/g	65%

Tabella 6 Composizione della FORSU assunta come riferimento in ingresso ai trattamenti biologici aerobici. La portata di FOS stimata in tabella è quella teoricamente ottenibile se il processo venisse condotto in modo corretto (scenario A).

4.2.3 Trattamento anaerobico della frazione organica raccolta differenziatamente

La frazione organica dei rifiuti può essere sottoposta a processi di digestione anaerobica consentendo di ottenere una perdita in peso simile a quella della digestione aerobica ma recuperando al contempo metano. Il processo si sostiene economicamente e consente di pre-stabilizzare la frazione organica senza immettere in atmosfera odori o microrganismi patogeni. Di seguito si riportano le stime operate in relazione ad un processo di tal tipo realizzato con tecnologie efficienti e già commercialmente mature che consentono di stabilizzare la FORSU e contemporaneamente produrre energia. I dati utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura e da calcoli teorici.

FORSU	1000	t/giorno
FOS/FORSU	0.5-0.6	%
resa biogas	150	m ³ /t
biogas prodotto	150.000	m ³ /giorno
tenore CH ₄	65	%
PCI biogas	6,24	kWh / m ³
Energia totale	936.000	kWh/giorno
rendimento termico	25	%
Energia termica prodotta	230.256	kWh/giorno
rendimento elettrico	40	%
Energia elettrica prodotta	374.400	kWh/giorno
autoconsumo EE	5	%
Energia elettrica ceduta	356	MWh/giorno
Potenza	14,8	MWe

Tabella 7 Dati di input e dati stimati per un processo di digestione anaerobica della FORSU

4.2.4 Discarica

Anche la discarica, opportunamente gestita con interposizione di materiali di copertura, è un vero e proprio digestore anaerobico anche se il metano è disperso in atmosfera ed il processo è molto più lento. In questo caso le efficienze di trasformazione in biogas ma soprattutto la cinetica di trasformazione sono talmente differenti da richiedere un calcolo diverso. In particolare, quando si parla di discariche si deve considerare una scala temporale molto più ampia da quella di un qualsiasi reattore industriale in quanto il biogas viene emesso per decine di anni anche dopo la chiusura della discarica stessa.

Essendo la discarica un elemento importante ed irrinunciabile di ogni scenario gestionale, di seguito sono ricavati i dati necessari ad attribuire all'unità di massa del rifiuto biodegradabile l'emissione annuale o giornaliera di biogas. Questa stima è operata utilizzando un modello biochimico del 1° ordine, estremamente semplificato, che può fornire un'indicazione del biogas emesso da una discarica in funzione della frazione di materiale biodegradabile che contiene (R. Cossu, G. Andreottola, A. Muntoni. *Modelling landfill gas production* in T.H. Christensen and R. Cossu, R. Stegmann (eds) *Landfilling of waste: biogas*, Chapman&Hall, 1996).

K (parametro cinetico)	0,06	1/anno
L (parametro cinetico)	90	m ³ /t
quantità di FORSU immessa nel tempo attuale	1000	t/anno
tempo attuale	1	anno
tempo di chiusura	10	anni
portata di biogas al tempo attuale	9300	m ³ /anno

totale su 150 anni, m ³	media su 150 anni, m ³ /anno	media su 50 anni, m ³ /anno	media su 50 anni, m ³ /d
2.890.000	19.300	46.900	128
totale, t	media su 150 anni, t/anno	media su 50 anni, t/anno	media su 50 anni, t/d
3550	24	57	0,16

Tabella 8 Dati di input e output del modello biochimico di produzione biogas

Il dato che verrà quindi utilizzato per attribuire una quantità di biogas emesso dalla FORSU in discarica è di $57/1000=0.057$ t/t.

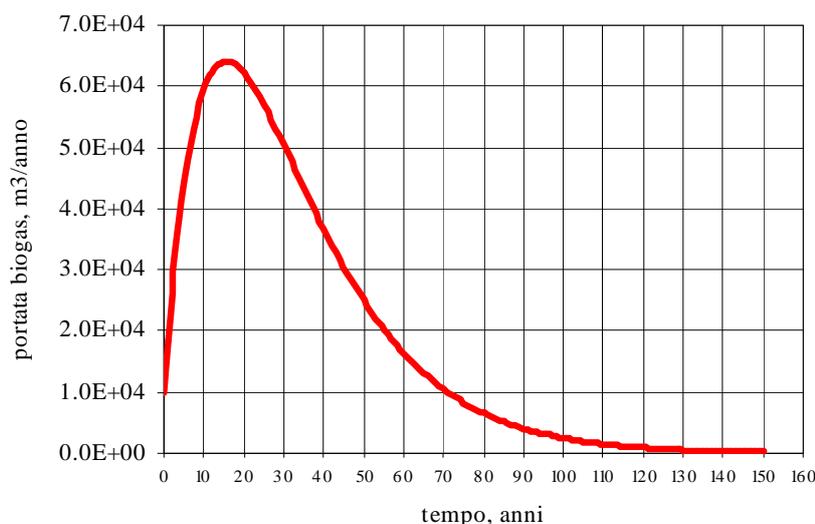


Figura 4 Rappresentazione grafica dell'andamento nel tempo della produzione di biogas per una discarica con una vita di 10 anni ed un ammontare di rifiuti biodegradabili pari a 1.000t/anno

In una discarica si produce, oltre al biogas, anche un flusso di percolato costituito principalmente da acqua e da diverse sostanze sia organiche che inorganiche. Il percolato va opportunamente raccolto ed inviato ad impianti di trattamento che utilizzino sia metodi chimico-fisici che biologici per evitare il rischio di infiltrazione, e conseguente contaminazione.

La stima della quantità giornaliera di percolato prodotta da una discarica andrebbe effettuata sulla base di dati sito specifici (quali, la frequenza e l'entità delle precipitazioni) e di dati costruttivi della discarica (quali, la superficie esposta). Non essendo disponibili tali dati, nelle elaborazioni degli scenari presenti e futuri non si è proceduto ad alcuna stima di flusso di percolato da discarica.

4.3 Valutazione dei risultati

I risultati principali della valutazione degli scenari sono sintetizzati di seguito, così come ricavati dalle analisi del flusso di materia per massa totale, carbonio e cadmio riportate per gli scenari A1, A2, A3 (figure 5-13) e B1, B2, B3 (figure 17-25). Si riportano anche i risultati ricavati dalle valutazioni sui volumi di rifiuti da trattare e smaltire (tabelle 12 e 16) e sui bilanci di energia (figure 14-16 e 26-28).

4.3.1 Scenario A

Lo Scenario A, come già ricordato, differisce dallo Status Quo in quanto:

- la frazione di rifiuto raccolto in modo differenziato è molto più alta dell'attuale 11,3%, e cioè 35% in A1, 25% in A2 e 65% in A3;
- la frazione organica raccolta in maniera differenziata è trattata in impianti di digestione anaerobica;
- gli impianti MBT funzionano efficientemente producendo due principali correnti in uscita. La prima è un CDR a norma inviato a termovalorizzazione per combustione diretta (e quindi non ecoballe da mettere in riserva nei siti di stoccaggio); la seconda è una frazione organica correttamente stabilizzata;
- i residui della filiera di riciclo della carta e della plastica sono inviati a termovalorizzazione;
- i residui solidi della digestione anaerobica della frazione organica raccolta in modo differenziato sono considerati utilizzabili, a seguito di post-stabilizzazione aerobica, come compost o come materiale per il ripristino di siti contaminati.

Con riferimento al *flusso di massa*, la differenza più evidente tra status quo (fig. 1) e gli scenari A (figure 5, 8 e 11) è che non c'è ulteriore aumento dello stoccaggio di ecoballe. Per l'obiettivo dell'*after-care-free waste management*, gli scenari A (così come quelli B commentati nel paragrafo successivo) sono efficienti, perché prevengono le principali preoccupazioni per le generazioni future e risolvono "qui ed adesso" le problematiche della gestione dei rifiuti.

Inoltre il funzionamento corretto degli impianti MBT, in particolare della sezione di stabilizzazione biologica, determina negli scenari A una consistente diminuzione del biogas prodotto e soprattutto una drastica riduzione della massa di FOS inviata a discarica.

Sembrerebbe inoltre che tra status quo e gli scenari A l'ammontare totale di rifiuto da conferire in discarica non si riduca quanto ci si sarebbe potuto aspettare per: le più alte percentuali di raccolta differenziata, gli impianti di digestione anaerobica e la termovalorizzazione del CDR e dei residui del riciclo di carta e plastica. Questo è però un risultato solo apparente, dovuto al fatto che, ad oggi, una larga parte del RSU è stoccata come ecoballe; senza questo stoccaggio intermedio, la necessità di discariche per lo status quo sarebbe, dal punto di vista della massa, quasi due volte maggiore.

La tabella 9 riassume queste considerazioni. Si vede come il rifiuto totale a discarica si riduce apparentemente del 33% nello scenario con una percentuale di raccolta differenziata del 35% (A1) e del 26% in quello con una percentuale del 25% (A2). Nella realtà, considerato anche lo "stoccaggio temporaneo" delle ecoballe, l'86% (6800/7891) dei rifiuti è attualmente mandato a discarica o in siti di stoccaggio. Lo scenario A porta invece ad una riduzione, rispetto alla reale situazione attuale, pari al 63% nel caso A1 e al 60% nel caso A2.

Il materiale da conferire a discarica sarebbe comunque di più se i rifiuti dei processi di riciclo della carta e della plastica non venissero termovalorizzati. In tal caso, infatti, lo scenario A1 avrebbe un ammontare di rifiuto da riciclo da inviare a discarica pari a 551t/g (invece che 142t/g) nello scenario A1 e pari a 338t/g (invece di 62t/g) in A2. Analoghe considerazioni valgono per lo scenario A3 che ipotizza una percentuale di raccolta differenziata del 65%, cioè 6 volte quella attuale e quindi difficilmente ottenibile, perlomeno in tempi medio-brevi.

Massa di rifiuto a discarica	Status quo [t/giorno]	Scenario A1 [t/giorno]	Scenario A2 [t/giorno]	Scenario A3 [t/giorno]
da MBT	3465 (+3109)	1780	2053	986
da riciclo	226	142	62	715
da termovalorizzazione	0	566	611	409
Totale	3691 (6800)	2488	2726	2110

Tabella 9 Massa di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari A

In ogni caso, il tipo di discarica necessaria cambierebbe. Mentre ad oggi la massima parte del rifiuto conferito a discarica è RSU pretrattato, nello scenario futuro due nuovi tipi di residui dovranno essere smaltiti: le ceneri di fondo e i residui dei sistemi di controllo dell'inquinamento atmosferico (APC) dei termovalorizzatori. Le ceneri di fondo richiedono un limitato pretrattamento prima dello smaltimento in discarica e, data la mancanza di sostanze organiche, producono nessun gas di discarica e solo contenuti flussi di percolato. Invece, i residui APC hanno rilevanti concentrazioni di sostanze pericolose e necessitano di trattamenti speciali prima del conferimento in discarica.

Per ciò che riguarda il *volume* di discarica necessario (tabella 10), la situazione appare simile a quella del flusso di massa: lo scenario A riduce sensibilmente lo spazio totale di discarica necessario, ancor più se si tengono in conto gli anomali stoccaggi di ecoballe.

Volume di rifiuto a discarica	Status quo [m ³ /giorno]	Scenario A1 [m ³ /giorno]	Scenario A2 [m ³ /giorno]	Scenario A3 [m ³ /giorno]
da MBT	4620 (+4318)	2373	2737	1315
da riciclo ¹¹	226	142	62	715
da termovalorizzazione ¹²	0	486	524	351
Totale	4846 (9164)	3001	3323	2381

Tabella 10 Volume di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari A

Con riferimento al *carbonio* (figure 2, 6, 9 e 12) di nuovo il principale beneficio degli scenari A è la possibilità di evitare l'accumulo di carbonio nei siti di stoccaggio. Inoltre, come nel caso del flusso di massa, l'ammontare di carbonio in discarica cambia sensibilmente, con una riduzione del 50% per A1 e del 40% per A2. La raccolta differenziata ed il riciclo accrescono

¹¹ Per mancanza di dati, è stata assunta una densità massima di 1t/m³

¹² Per le ceneri volanti (residui di APC) si è tenuto conto dell'aumento di massa a seguito dei necessari processi di inertizzazione

il riutilizzo di carbonio in forma di cellulosa e polimeri, il che è un vantaggio perché questo carbonio non sarà messo in discarica e non contribuirà ai gas serra.

I mutati flussi di carbonio presentano due benefici sostanziali nell'ottica degli obiettivi della gestione rifiuti. Innanzitutto, l'ammontare di gas serra si riduce per l'aumentato ricorso al riciclo e per l'introduzione dei termovalorizzatori. Poiché l'energia prodotta in questi impianti sostituisce quella da altre fonti energetiche, e poiché circa la metà dell'energia in tali impianti deriva da prodotti non-fossili, c'è in definitiva una riduzione delle emissioni complessive di gas serra. In secondo luogo, come già ricordato, i flussi di carbonio devono essere differenziati nel flusso di composti del carbonio quali cellulosa, PVC, CFC (cloro-fluoro carburi), ecc. Il "destino" di questi composti durante il trattamento dei rifiuti è diverso, ed è determinato da proprietà chimiche quali la biodegradabilità, la tensione di vapore, il coefficiente di Henry, ecc. Mentre durante il compostaggio e la digestione anaerobica, i composti biodegradabili sono rapidamente degradati, tale degradazione è molto più lunga all'interno delle discariche ma procede comunque a causa dei lunghissimi tempi di permanenza. Ci si attendono emissioni di carbonio nei percolati da discarica per centinaia di anni.

I moderni impianti di termovalorizzazione sono in grado di mineralizzare più del 90% di tutto il carbonio, producendo anidride carbonica, acqua ed energia. L'incenerimento è quindi l'unico processo di trattamento dei rifiuti che possa degradare i composti organici pericolosi in modo controllato ed altamente efficiente. E' quindi importante disporre dell'incenerimento quale metodo affidabile di distruzione completa, soprattutto per alcune sostanze contenute nei prodotti di consumo quali, i CFC con potenziale danno allo strato di ozono o gli SF₆ che hanno un elevato potenziale di gas serra. Nel conferimento a discarica e nei trattamenti biologici, molte di queste sostanze sono invece rilasciate nell'ambiente.

Il *Cadmio* è un metallo pesante tossico che è stato estensivamente usato come additivo nelle plastiche, per le batterie, nelle vernici e come elemento di rivestimento superficiale. Ad oggi, l'uso del cadmio è sotto esame per la sua tossicità. Le applicazioni come additivo stanno riducendosi, mentre l'impiego nelle batterie è ancora l'utilizzo principale di questo metallo. Nello status quo e negli scenari A (figure 3, 7, 10 e 13), il cadmio è perlopiù inviato a discarica (per il 94% nello status quo, per il 78% in A1, per l'85% in A2 e per il 62% in A3). Con percentuali sempre maggiori di raccolta differenziata e di riciclo viene riciclato più cadmio come si evince dalle citate figure dalle quali risulta in particolare che nello scenario A3 (con il 65% di RD) il 97% del Cd in uscita si ritrova nei prodotti di riciclo. Sarà quindi un nuovo compito dei riciclatori estrarre il cadmio e gli altri additivi pericolosi dai cicli della plastica e di altri prodotti. Si tratta di un compito nuovo perché per ottenere basse percentuali di riciclo è sufficiente la raccolta, selezione e riprocessazione di imballaggi plastici comparativamente puliti; per ottenere percentuali più alte dovranno invece essere riciclati anche i rifiuti di beni durevoli non provenienti da imballaggi. Per garantire funzioni per tempi lunghi, questi materiali durevoli in plastica sono stabilizzati con piombo, zinco, antimonio e, principalmente, cadmio. Una moderna gestione di rifiuti deve necessariamente tenere in conto dell'ammontare crescente di tali additivi, che entrerà nelle correnti di rifiuti alla fine del tempo di vita dei prodotti. E' di nuovo esemplare la situazione relativa allo scenario A3 riportata in figura 13 e già in parte commentata nel paragrafo 3.2.

Va inoltre osservato che mentre la maggior parte del cadmio nei rifiuti a discarica è relativamente immobile, il cadmio nei residui dei sistemi di controllo dell'inquinamento dei termovalorizzatori è mobile. Tali residui devono quindi essere trattati prima della messa in discarica. Per le ceneri di fondo esistono invece studi che mostrano che quando esse sono opportunamente pretrattate e adeguatamente conferite in discarica la mobilità è limitata.

Un'ulteriore considerazione, di importanza fondamentale nell'ottica di una valutazione realmente integrata della gestione dei rifiuti nei vari scenari, è quella relativa al bilancio energetico. Sia dal punto di vista della sostenibilità economica che di quella ambientale è necessario verificare, seppur in prima approssimazione, quanto "costa" energeticamente la gestione del rifiuto. Occorre cioè valutare, per ognuno degli scenari ipotizzati (oltre allo status quo) quali siano le operazioni che consumano energia (e quindi consumano materie combustibili ed emettono sostanze nell'ambiente) e quali quelle che invece ne permettono la produzione.

Va premesso che i costi energetici della raccolta differenziata e del riciclo "fisico" (vetro, metalli, plastica, carta, ingombranti, RAEE), che naturalmente aumentano con l'incremento della raccolta differenziata, non sono stati valutati. Il motivo principale è che tutti i processi di riciclo (a parte quello del "recupero" della frazione organica) sono inseriti in filiere industriali per le quali i rifiuti differenziati sono vere e proprie MPS dalle quali si ottengono prodotti con un certo valore di mercato, a volte paragonabile a quello ottenuto da materie vergini. Essi si possono quindi considerare in qualche modo esterni alla filiera di gestione vera e propria del rifiuto (almeno dal punto di vista economico). Naturalmente ciò è vero finché vi sia una reale convenienza economica nell'effettuare il riciclo ed esso stesso non diventi un processo di smaltimento.

I costi ed i ricavi energetici sono quindi stati ottenuti per le seguenti operazioni:

- Trattamento meccanico biologico (MBT)
- Digestione anaerobica della frazione organica putrescibile raccolta in modo differenziato
- Termovalorizzazione

La tabella 11 riporta i dati relativi ai consumi (valori negativi) ed ai ricavi (valori positivi) energetici specifici per i principali processi inseriti negli scenari A e B.

	MBT		Digestione anaerobica	Termovalorizzazione	
	Trattamento meccanico	Trattamento dell'organico		Combustione del tal quale	Combustione del CDR
Costi/ricavi energetici specifici	-151	-216	+1300	+2500	+3700
	MJ/t_{RUR}	MJ/t_{FORSU}	MJ/t_{FORSU}	MJ/t_{RSU}	MJ/t_{CDR}

Tabella 11 Costi e ricavi elettrici specifici dei principali processi inclusi negli scenari di gestione.

Questi dati, se pur indicativi in quanto utilizzano coefficienti ottenuti dalla letteratura, consentono di stimare l'energia netta ottenibile da ciascun scenario (figure 14-16) incrociandoli con i bilanci di massa riportati nelle precedenti figure (1, 5, 8 e 11). Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi agli scenari A1, A2 e A3.

	Energia, MJ/giorno
Scenario A1	+10.500.000
Scenario A2	+11.170.000
Scenario A3	+6.700.000

Tabella 12 Stima dell'energia netta ottenibile dagli scenari A.

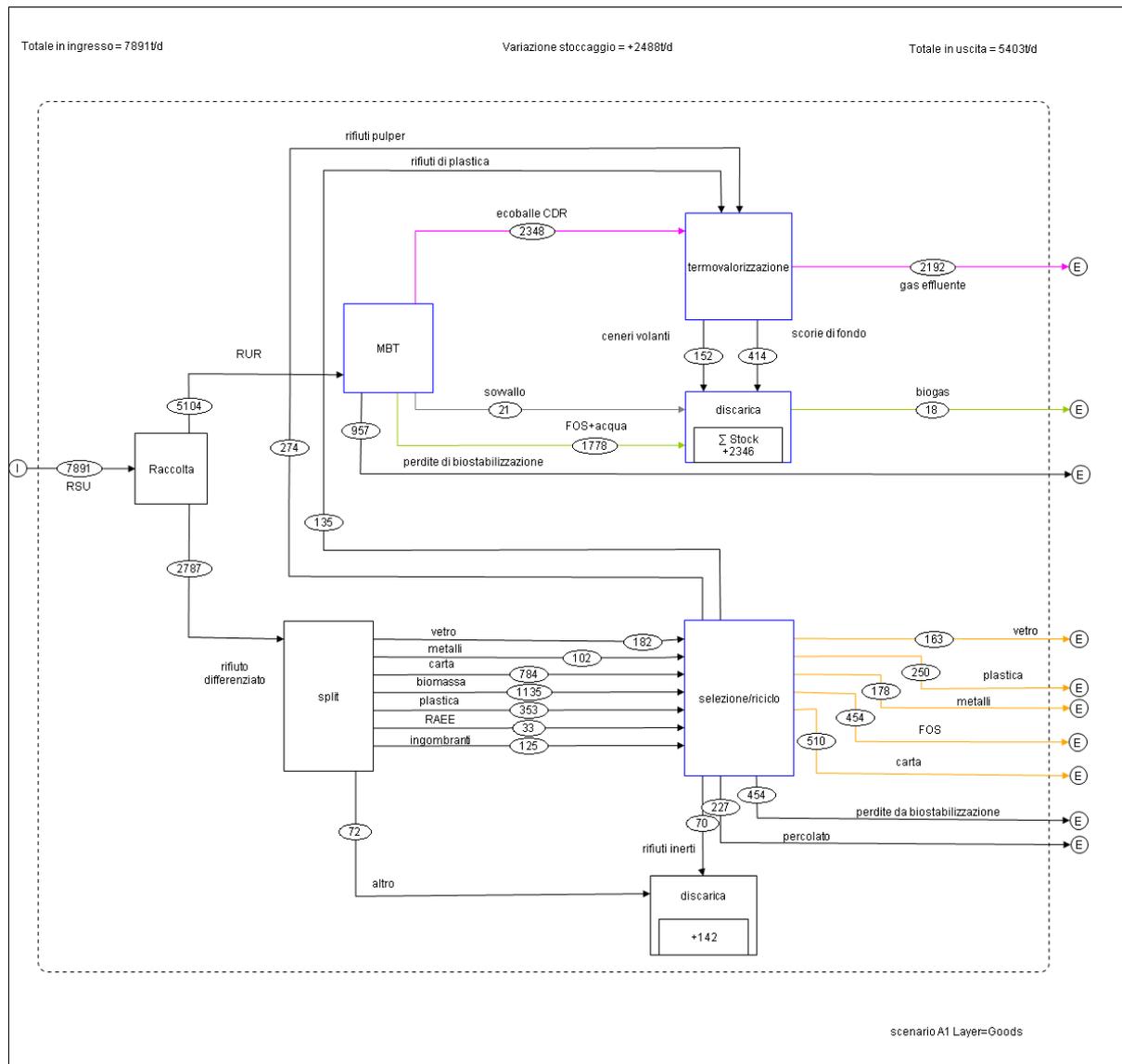


Figura 5 Bilancio di massa relativo allo scenario "A1". Layer "massa di rifiuto".

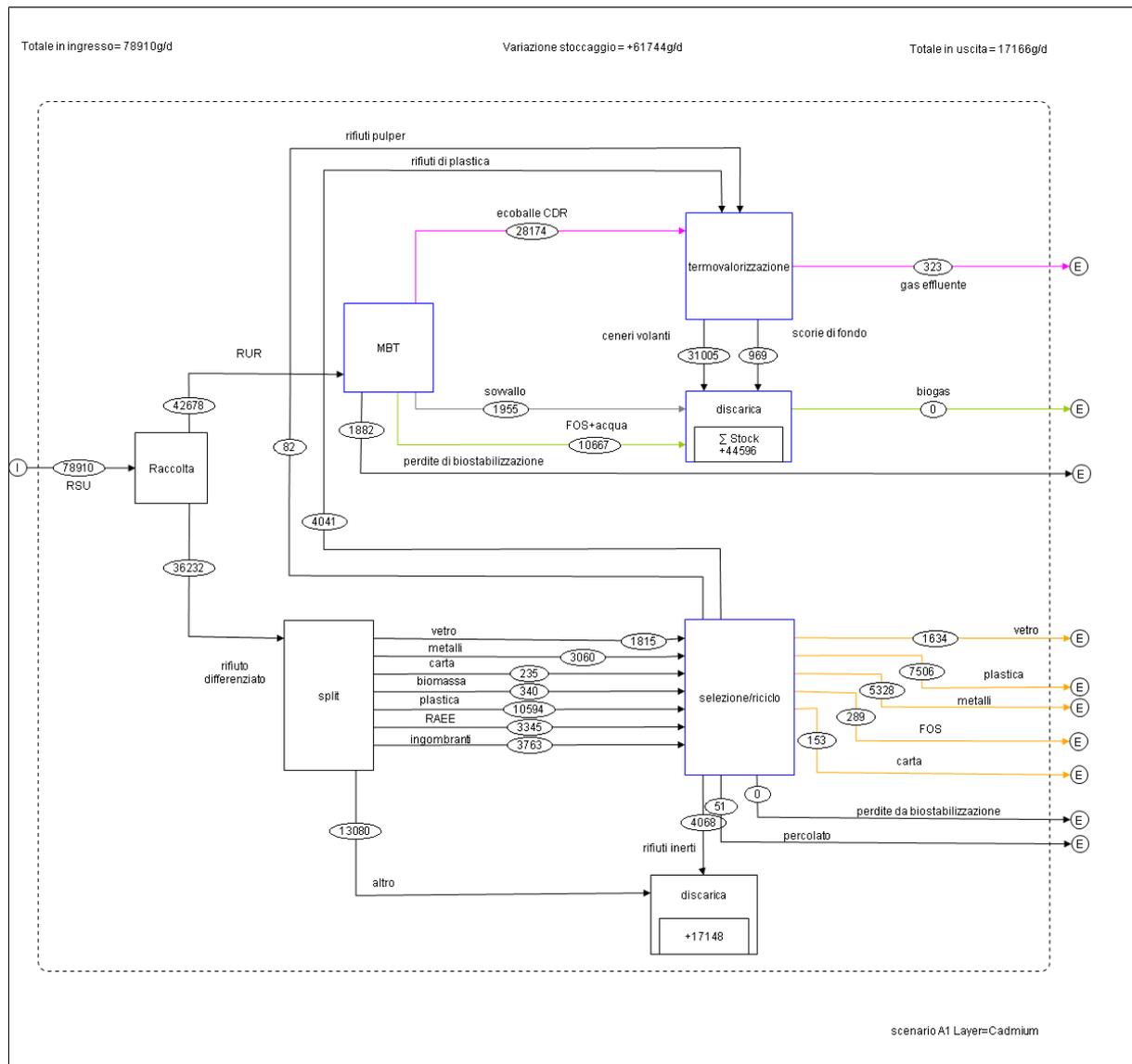


Figura 7 Bilancio di massa relativo allo scenario "A1". Layer "Cadmio".

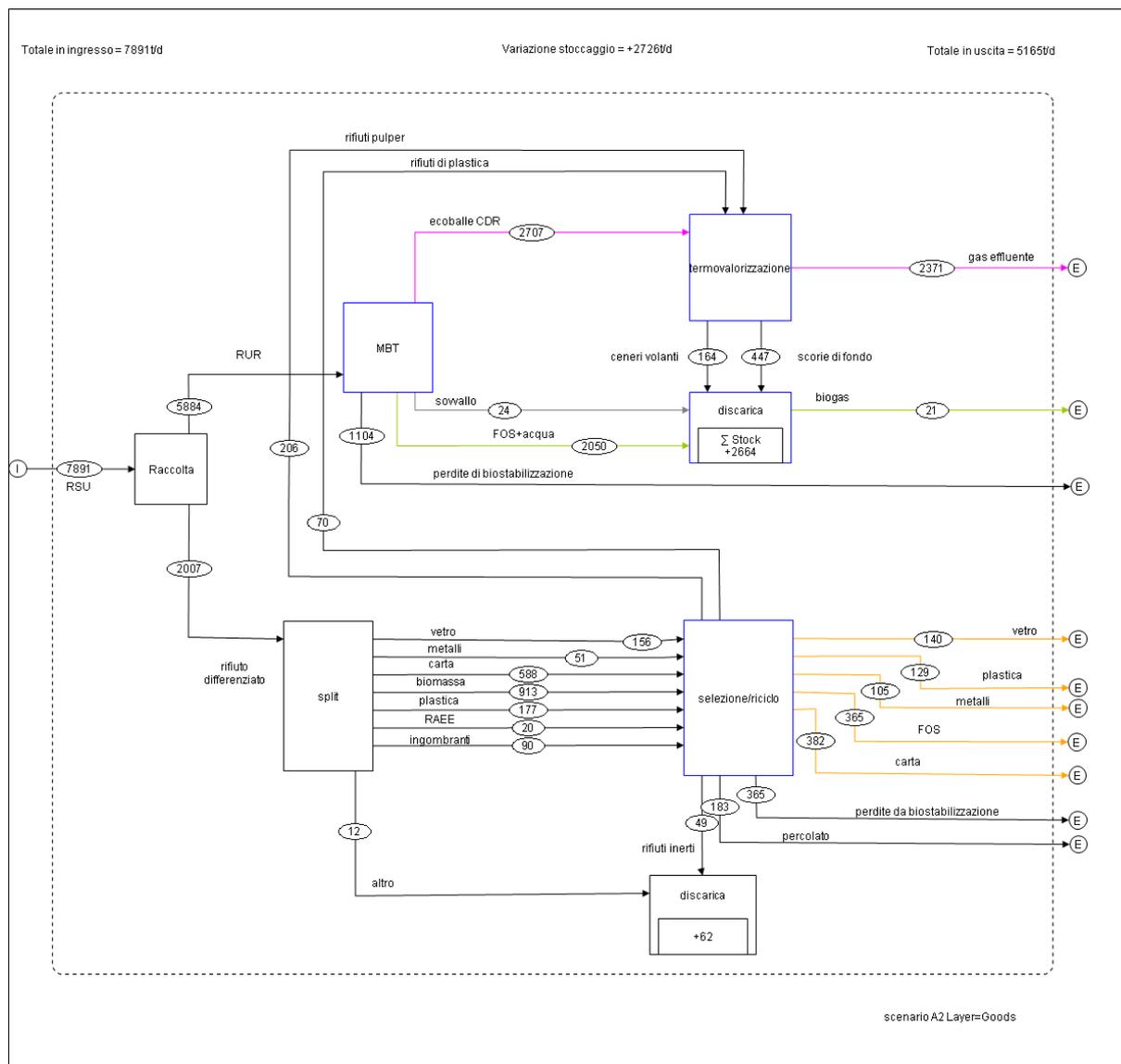


Figura 8 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer "massa di rifiuto".

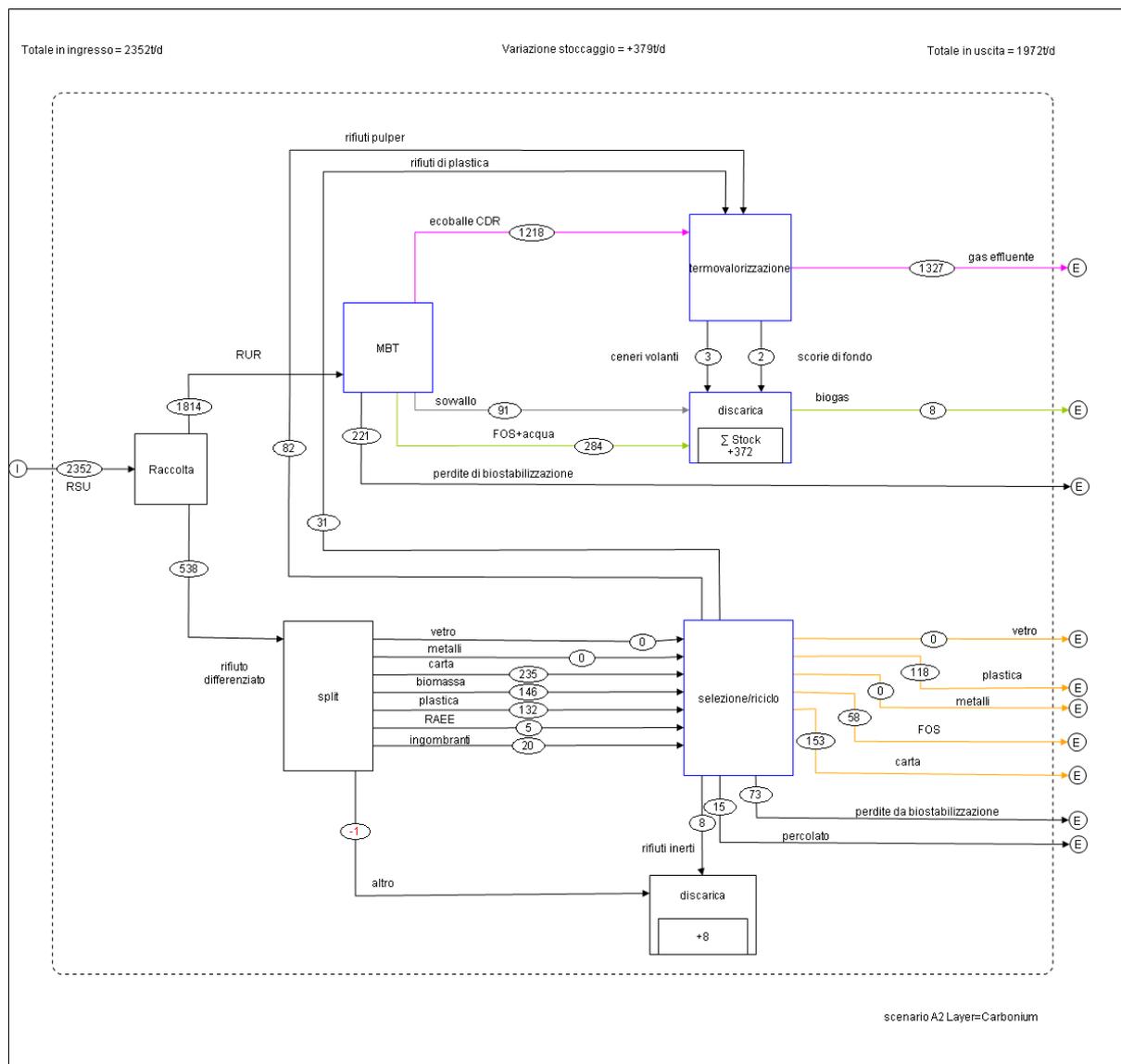


Figura 9 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer "carbonio".

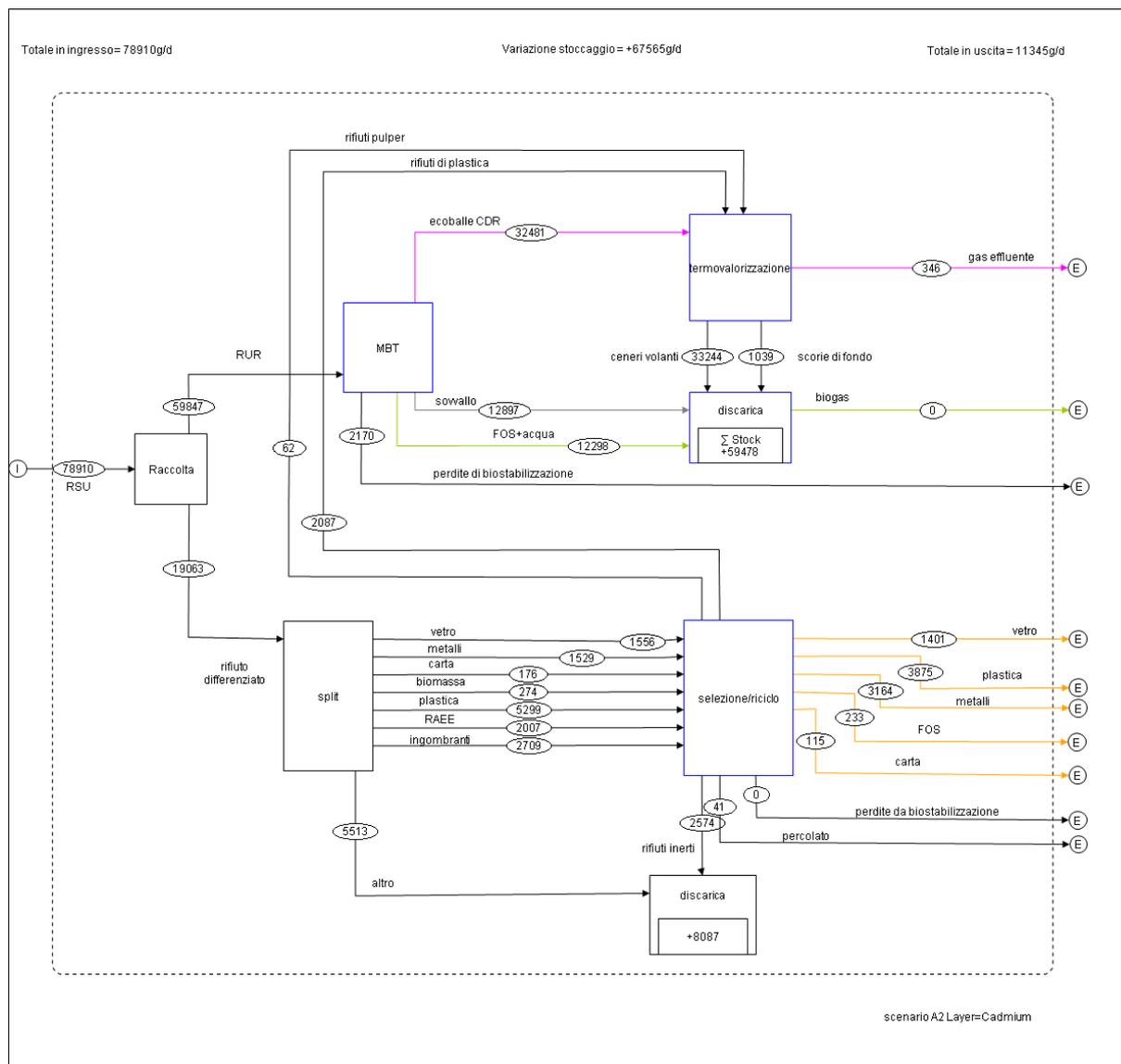


Figura 10 Bilancio di massa relativo allo scenario A2. Layer "cadmio".

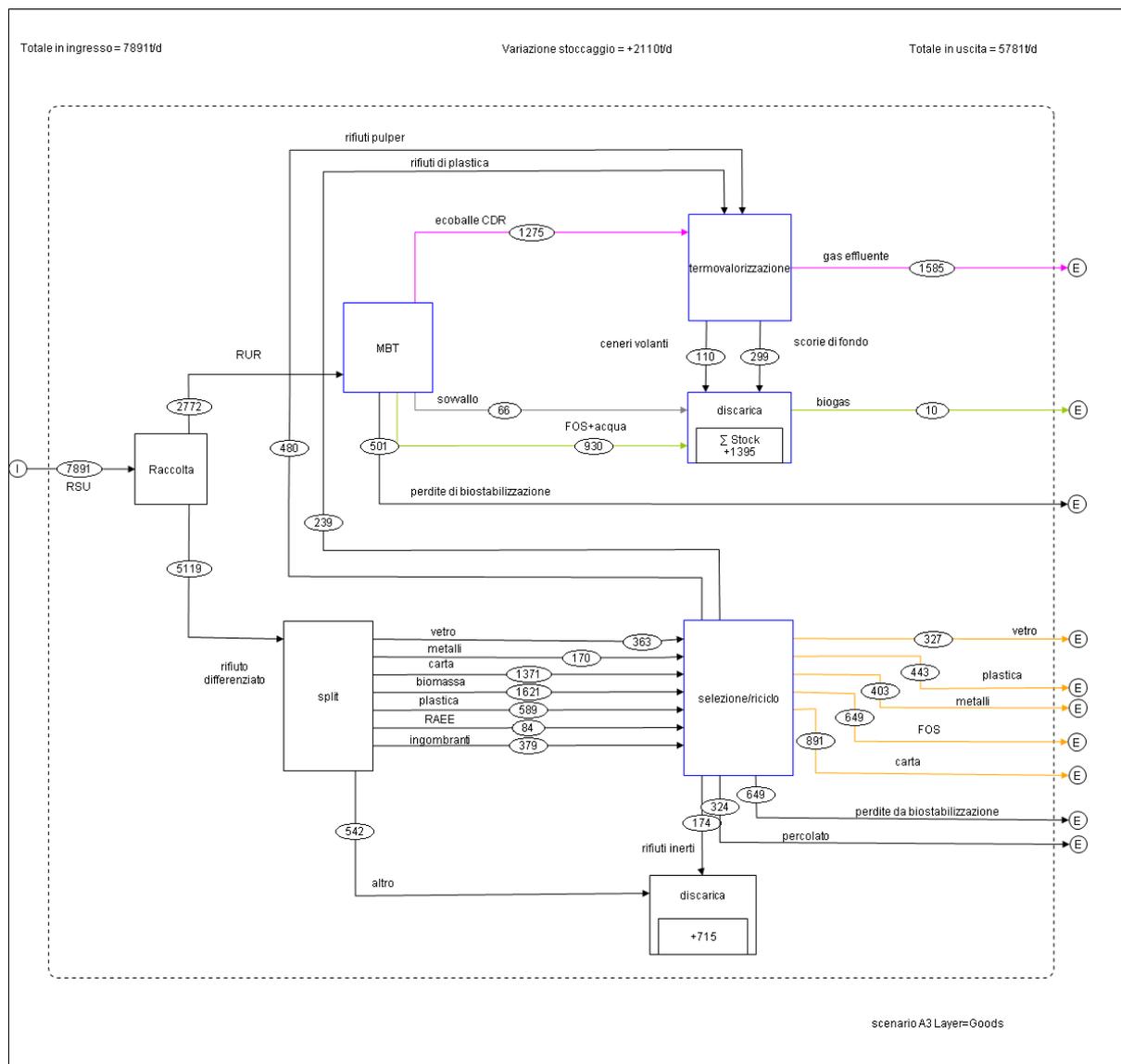


Figura 11 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer "massa di rifiuto".

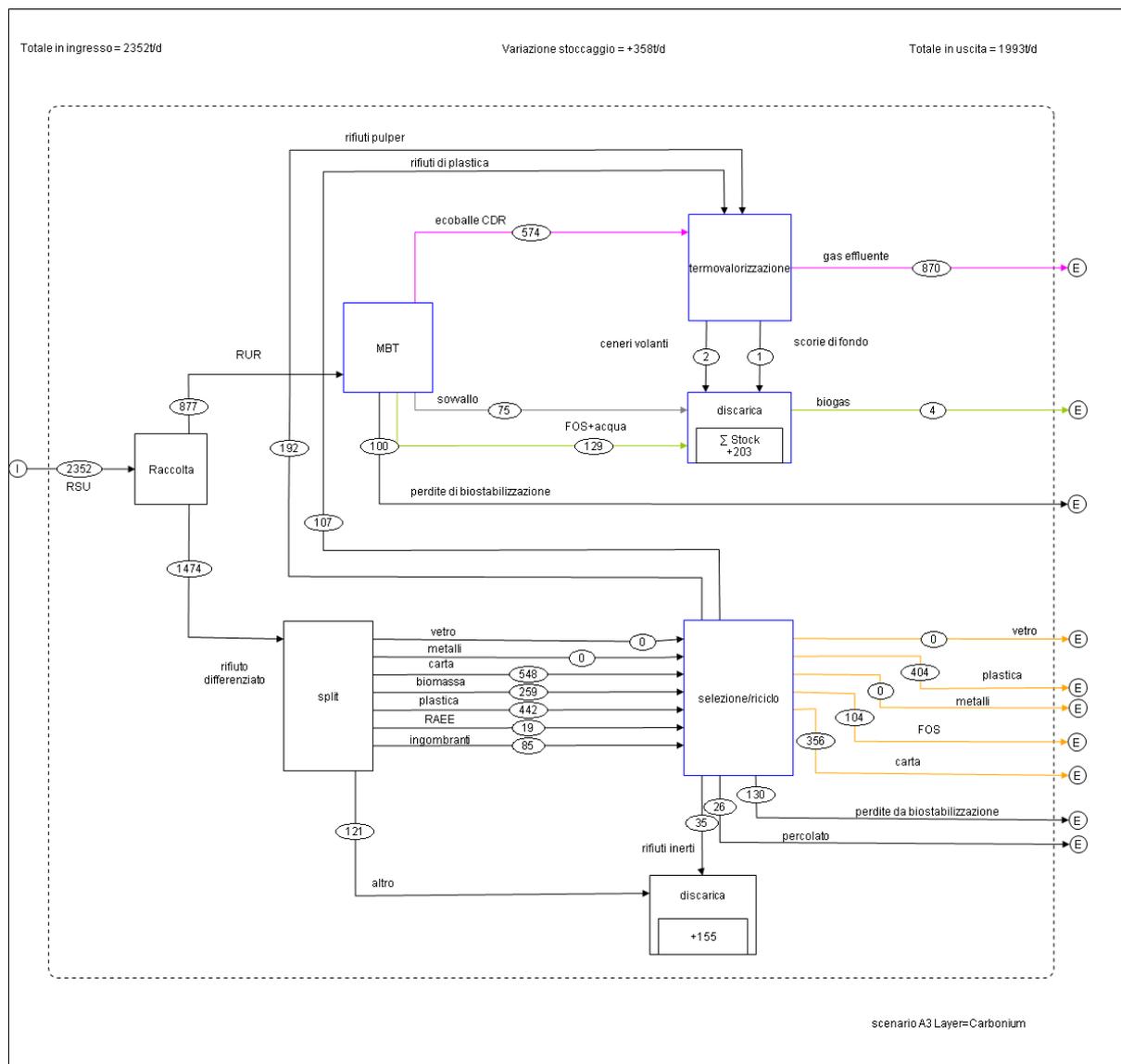


Figura 12 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer "carbonio".

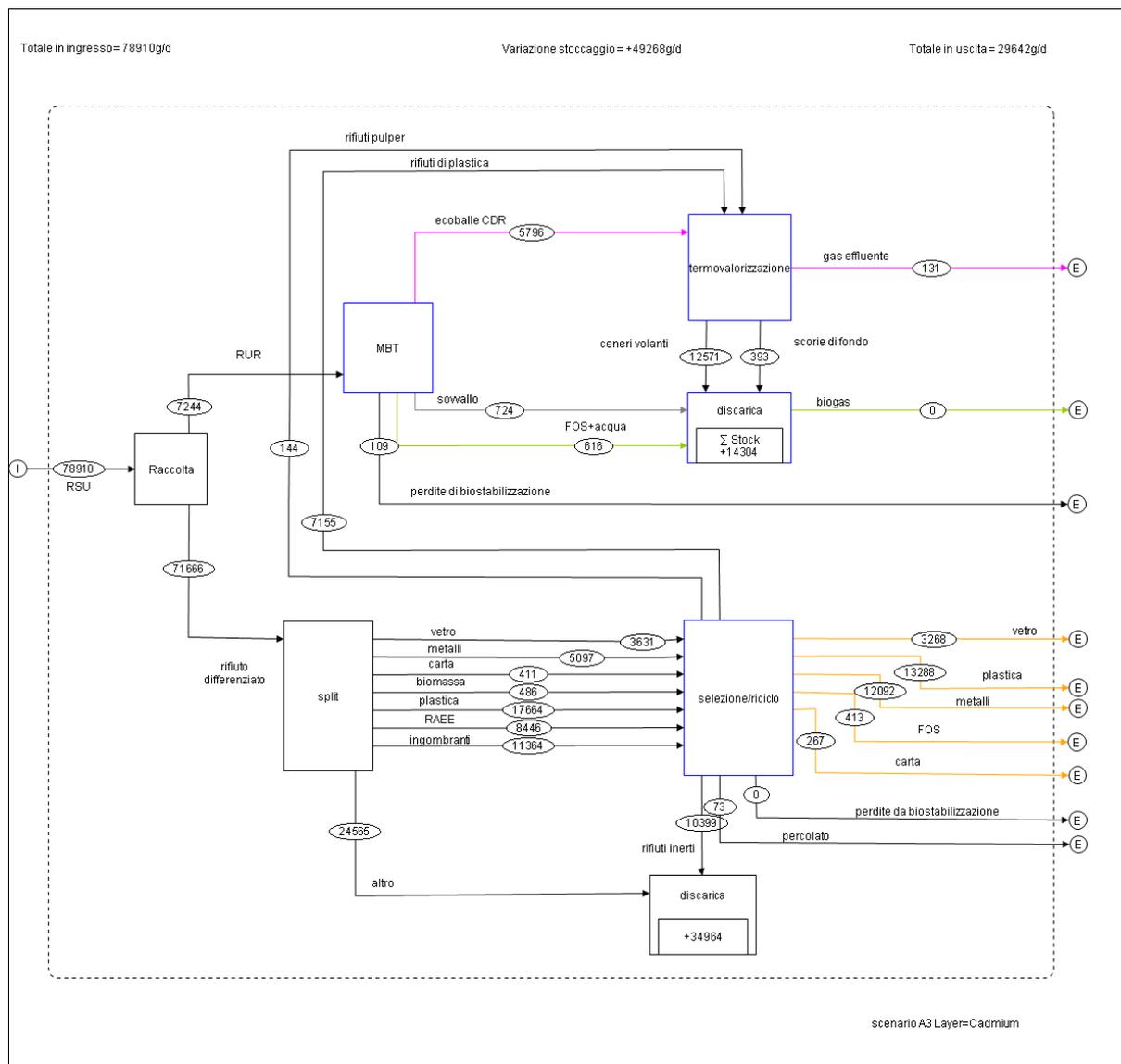


Figura 13 Bilancio di massa relativo allo scenario A3. Layer "cadmio".

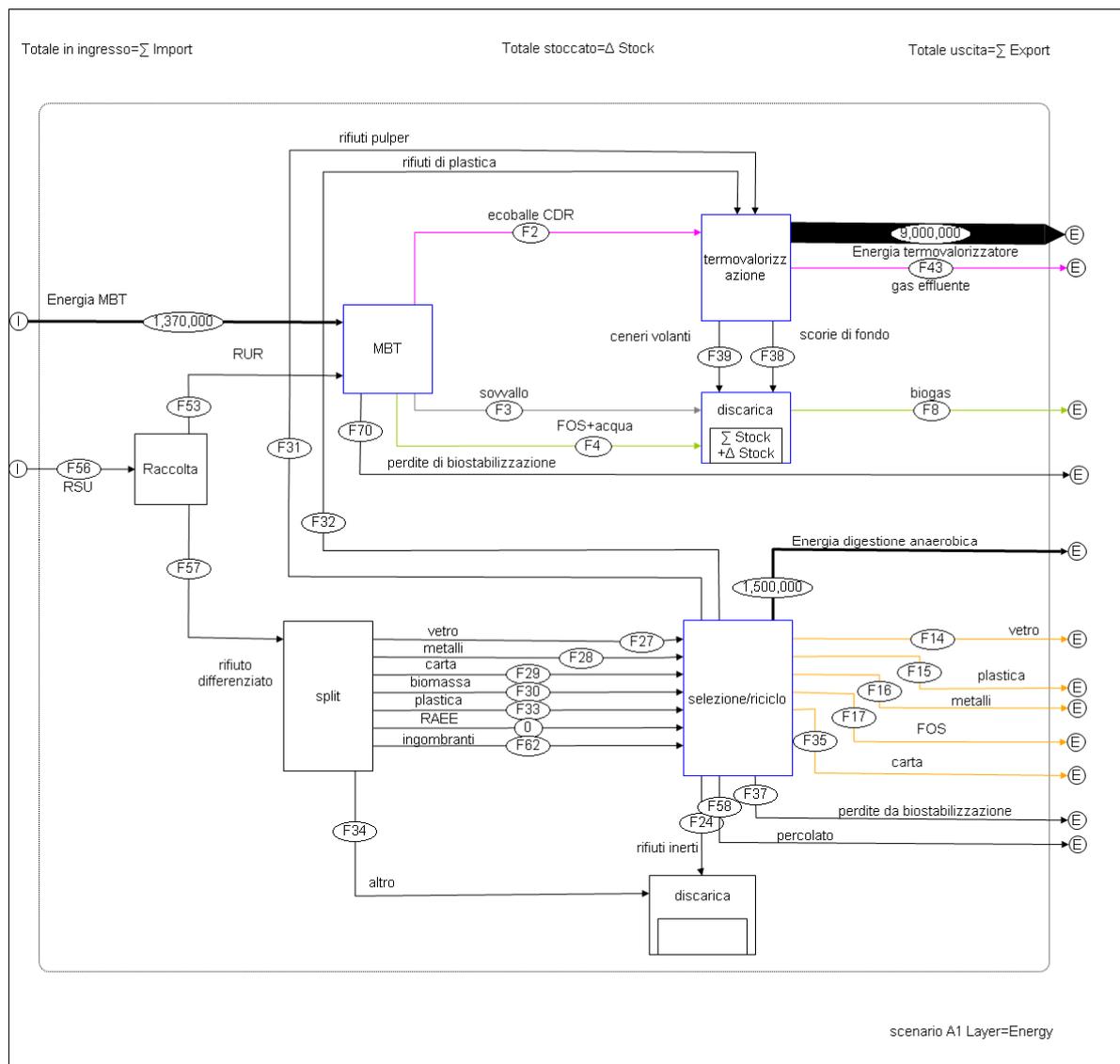


Figura 14 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A1.

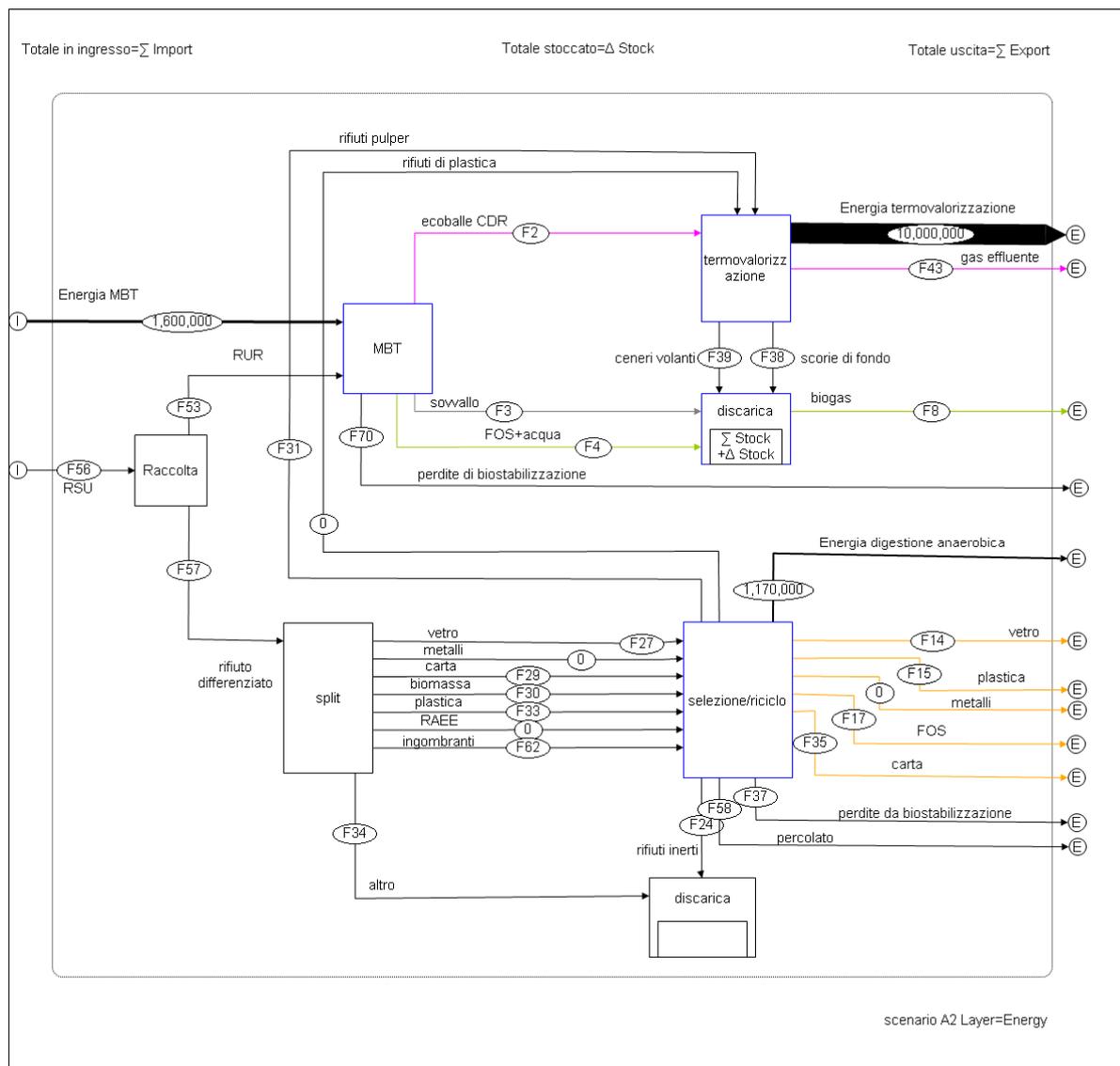


Figura 15 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A2.

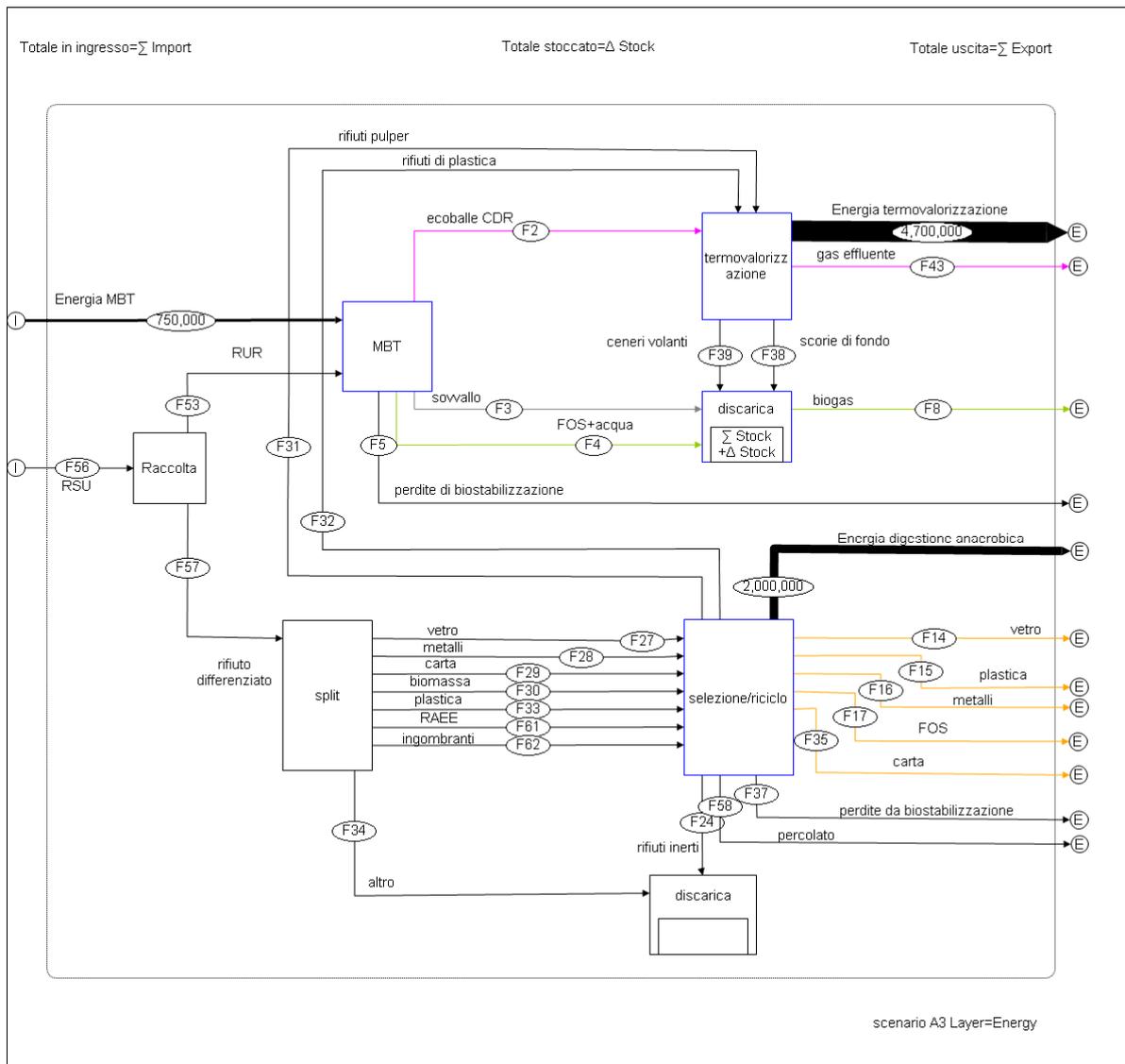


Figura 16 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario A3.

4.3.2 Scenario B

Gli scenari A e B sono identici per ciò che riguarda la parte della filiera del riciclo (raccolta, selezione e riprocessazione) e differiscono per il trattamento del rifiuto residuale alla raccolta differenziata perché nello scenario B esso è tutto inviato a trattamento di termovalorizzazione. In altri termini nello Scenario B:

- la frazione di rifiuto raccolto in modo differenziato è molto più alta dell'attuale 11,3%, e cioè 35% in B1, 25% in B2 e 65% in B3;
- la frazione organica raccolta in maniera differenziata è trattata in impianti di digestione anaerobica;
- il rifiuto raccolto in maniera indifferenziata è inviato a termovalorizzazione come tale;

- i residui della filiera di riciclo della carta e della plastica sono inviati a termovalorizzazione;
- i residui solidi della digestione anaerobica della frazione organica raccolta in modo differenziato sono considerati utilizzabili, a seguito di post-stabilizzazione aerobica, come compost o come materiale per il ripristino di siti contaminati.

In termini di obiettivi della gestione dei rifiuti, gli effetti positivi di questo secondo scenario (figure 17-28) sono notevoli: la massa ed il volume per le discariche è drasticamente ridotto, le emissioni di gas serra sono minori, i materiali organici tossici sono mineralizzati, i metalli pesanti sono concentrati in una piccola frazione del volume totale del precedente RSU e l'accumulo di metalli atmofili nei residui dei sistemi APC consente la definizione di nuovi schemi di riciclo per i metalli. In combinazione con le più alte percentuali di raccolta differenziata, lo scenario B diviene il più vicino a soddisfare pienamente gli obiettivi della gestione rifiuti.

Per ciò che riguarda massa (figure 17, 20 e 23) e volume di rifiuti in discarica si faccia riferimento alle tabelle 13 e 14. La termovalorizzazione per combustione diretta cambia drasticamente i percorsi di rifiuti e residui: per B1 e B2 rispetto ad A1 e A2 la massa inviata in discarica è ridotta di circa il 40% mentre il volume di circa il 60%. Per B1 e B2 ben più della metà dell'ammontare totale di rifiuto è trasformato in gas effluenti puliti dagli impianti *waste-to-energy*. Come negli scenari A, il riciclo è migliorato e la biomassa è impiegata per produrre metano in impianti di digestione.

Massa di rifiuto a discarica	Status quo [t/giorno]	Scenario B1 [t/giorno]	Scenario B2 [t/giorno]	Scenario B3 [t/giorno]
da riciclo	226	142	62	715
da termovalorizzazione	0	1334	1498	826
Totale	3691 (6800)	1476	1560	1542

Tabella 13 Massa di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari B

Volume di rifiuto a discarica	Status quo [m ³ /giorno]	Scenario B1 [m ³ /giorno]	Scenario B2 [m ³ /giorno]	Scenario B3 [m ³ /giorno]
da riciclo	226	142	62	715
da termovalorizzazione	0	1115	1252	693
Totale	4846 (9164)	1257	1314	1408

Tabella 14: Volume di rifiuti e residui conferiti a discarica per lo status quo e per gli scenari B

Il flusso di carbonio dello scenario B (figure 15, 18 e 21) è chiaramente diverso da quelli relativi allo status quo e allo scenario A (figure 2, 6, 9 e 12). Non viene di fatto inviato carbonio organico a discarica e le quantità di quello inorganico nei residui dell'incenerimento sono limitate. Gli scenari B1 e B2 riducono l'emissione di gas serra, con l'effetto primo di mancanza di metano da discarica. In aggiunta, la termovalorizzazione sostituisce altre

energie, di solito di origine fossile, e quindi indirettamente riduce le emissioni di CO₂. Infine, circa metà del carbonio nel RSU è di origine non fossile e quindi non contribuisce *a priori* ai cambiamenti climatici.

Durante la termovalorizzazione e la fase di abbattimento degli inquinanti, negli scenari B1 e B2 un'alta percentuale di cadmio (tra il 56 ed il 75%) si concentra nei residui APC¹³ (figure 19 e 22). Poiché tali residui costituiscono il 5% del totale dei RSU inceneriti, è possibile pensare ad un nuovo schema di riciclo del Cd attraverso gli impianti di termovalorizzazione e le successive fasi di raccolta e riciclo dei residui dei sistemi APC di controllo dell'inquinamento atmosferico. Lo scenario B mostra chiaramente la potenzialità che ha la termovalorizzazione di concentrare certi metalli nei residui dell'APC ed anche nelle ceneri di fondo. In futuro, questi due residui dovranno essere studiati ulteriormente per valutare l'ottimizzazione del recupero di metalli quali cadmio, zinco, piombo e antimonio (nei residui APC) e rame, ferro e alluminio (nelle ceneri di fondo).

L'energia netta ottenibile dagli scenari B (figure 26-28) è ricavabile utilizzando i dati specifici di tabella 11 ed è riportata nella tabella 15.

	Energia, MJ/giorno
Scenario B1	+14.500.000
Scenario B2	+16.170.000
Scenario B3	+9.000.000

Tabella 15 Energia netta stimata per gli scenari B.

¹³ questa frazione può cambiare leggermente a seconda della composizione del rifiuto e della tecnologia usata per l'incenerimento

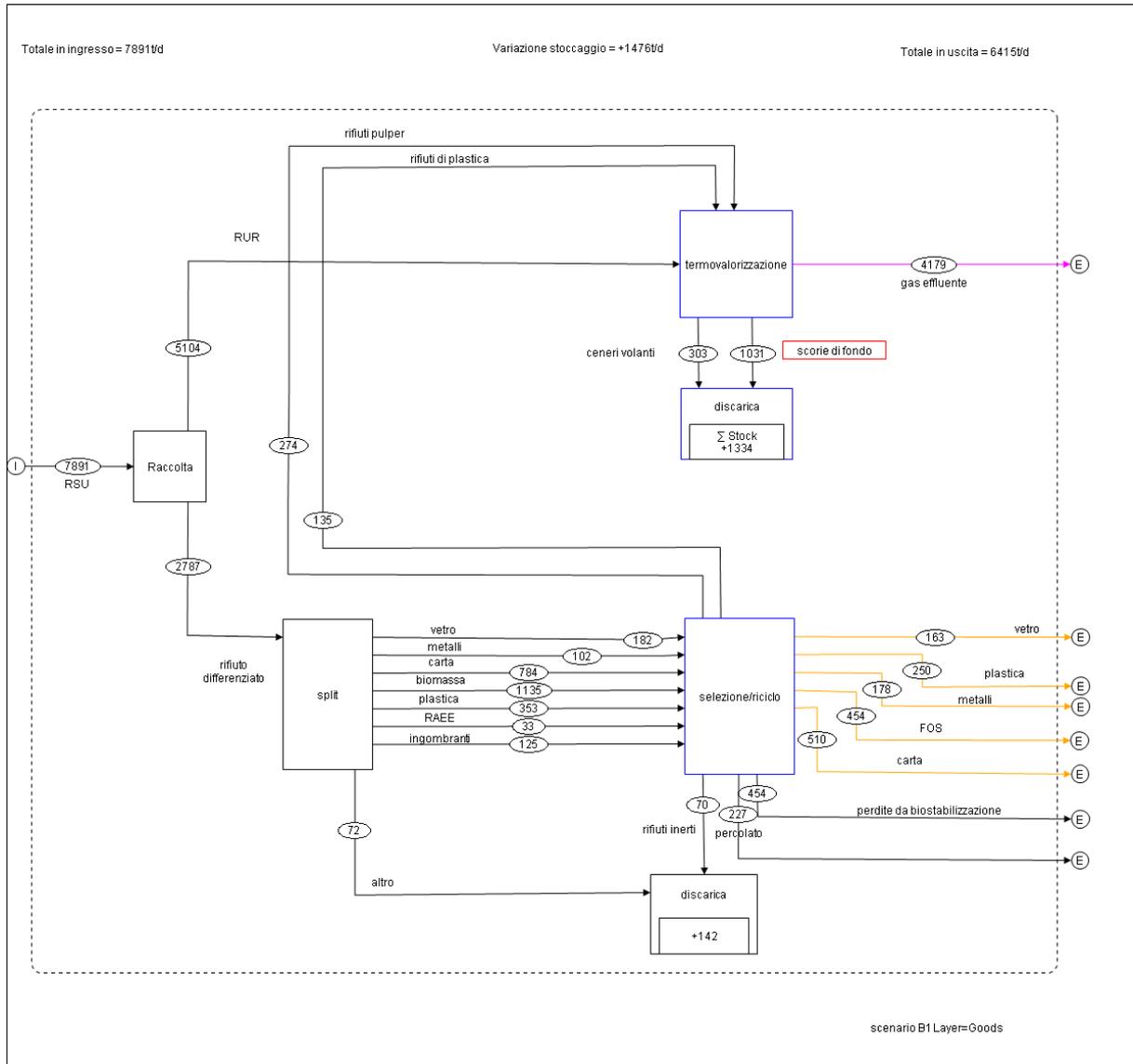


Figura 17 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer "massa di rifiuto"

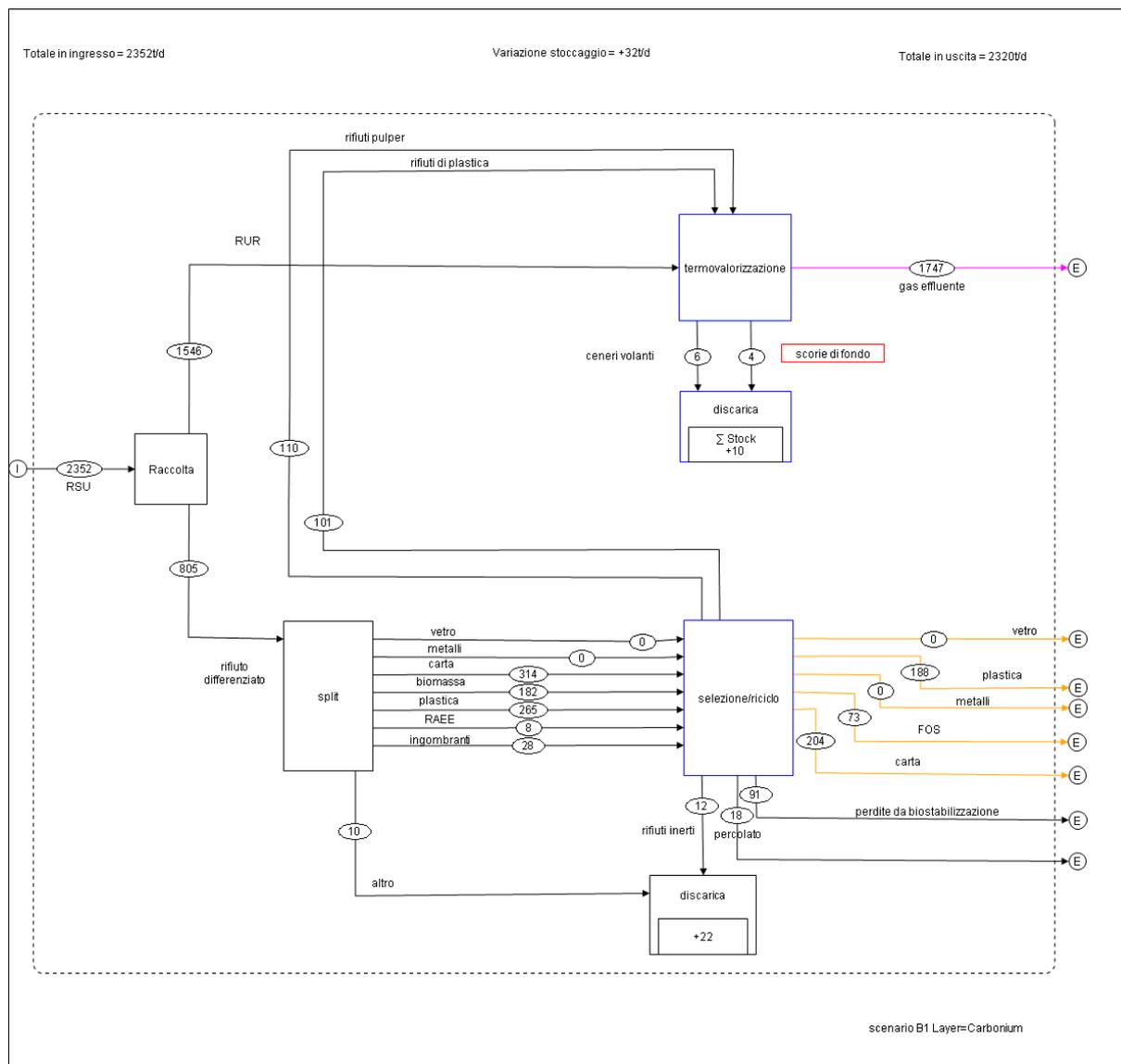


Figura 18 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer "carbonio"

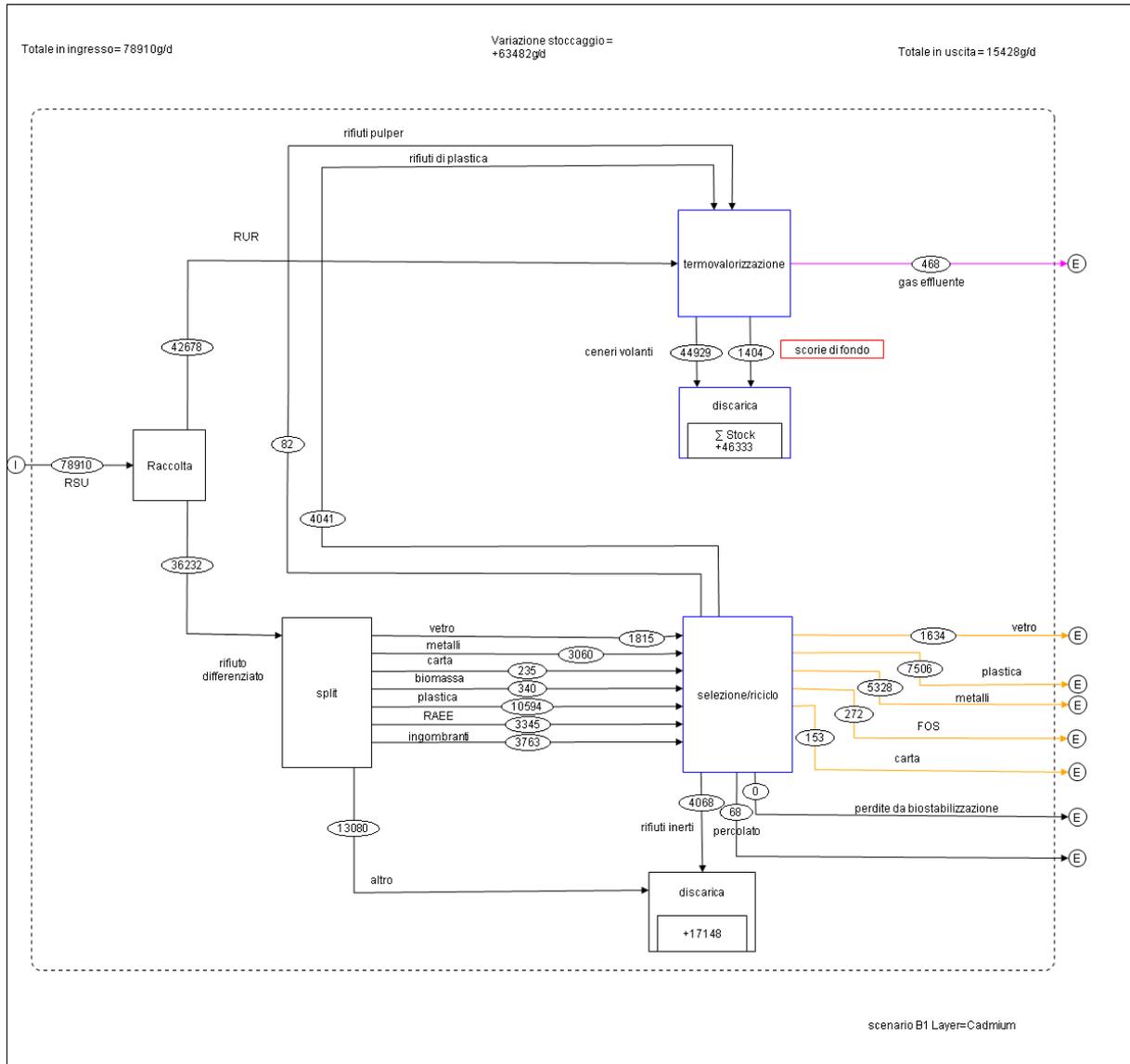


Figura 19 Bilancio di massa relativo allo scenario B1. Layer "cadmio"

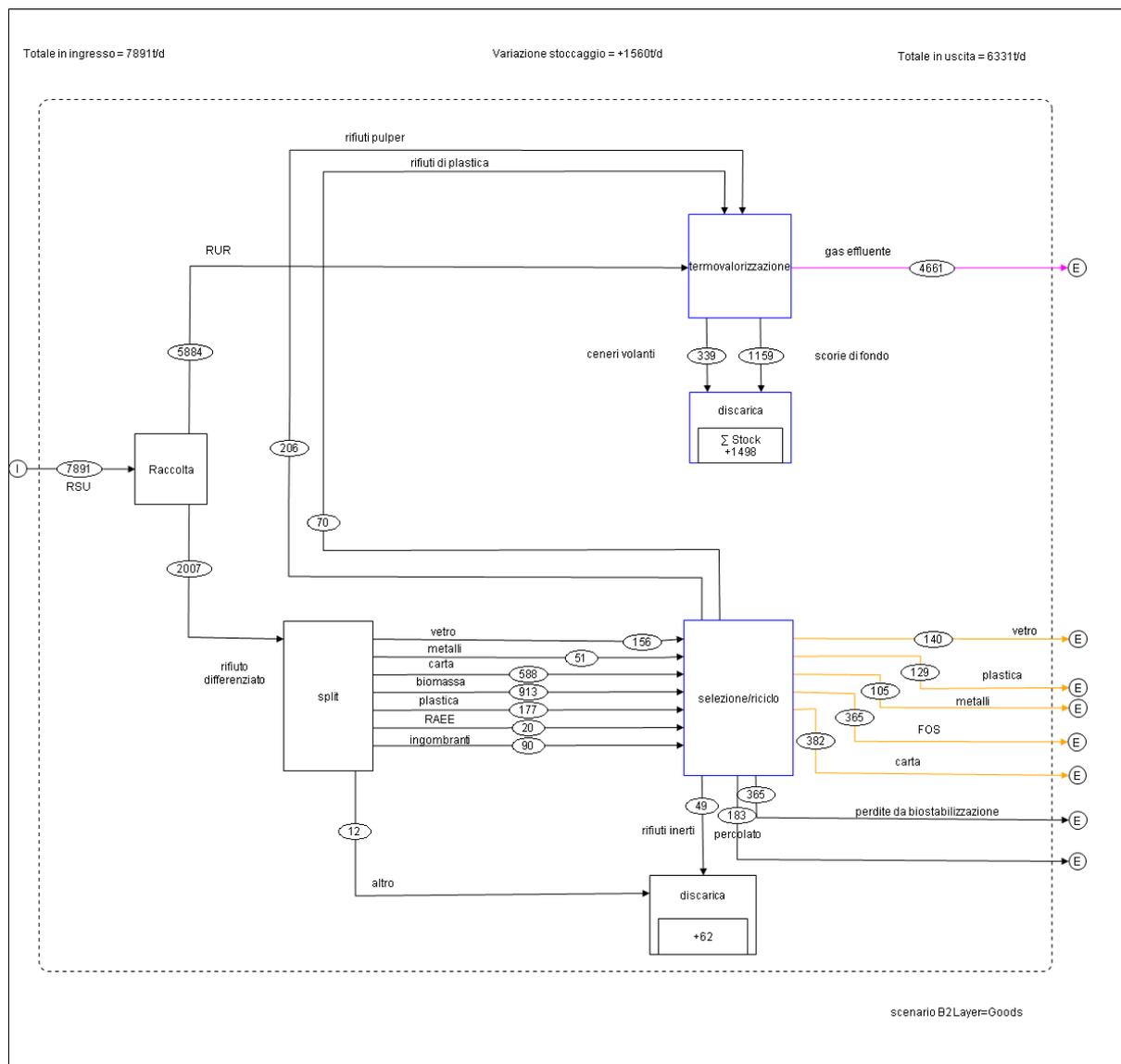


Figura 20 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer "massa di rifiuto"

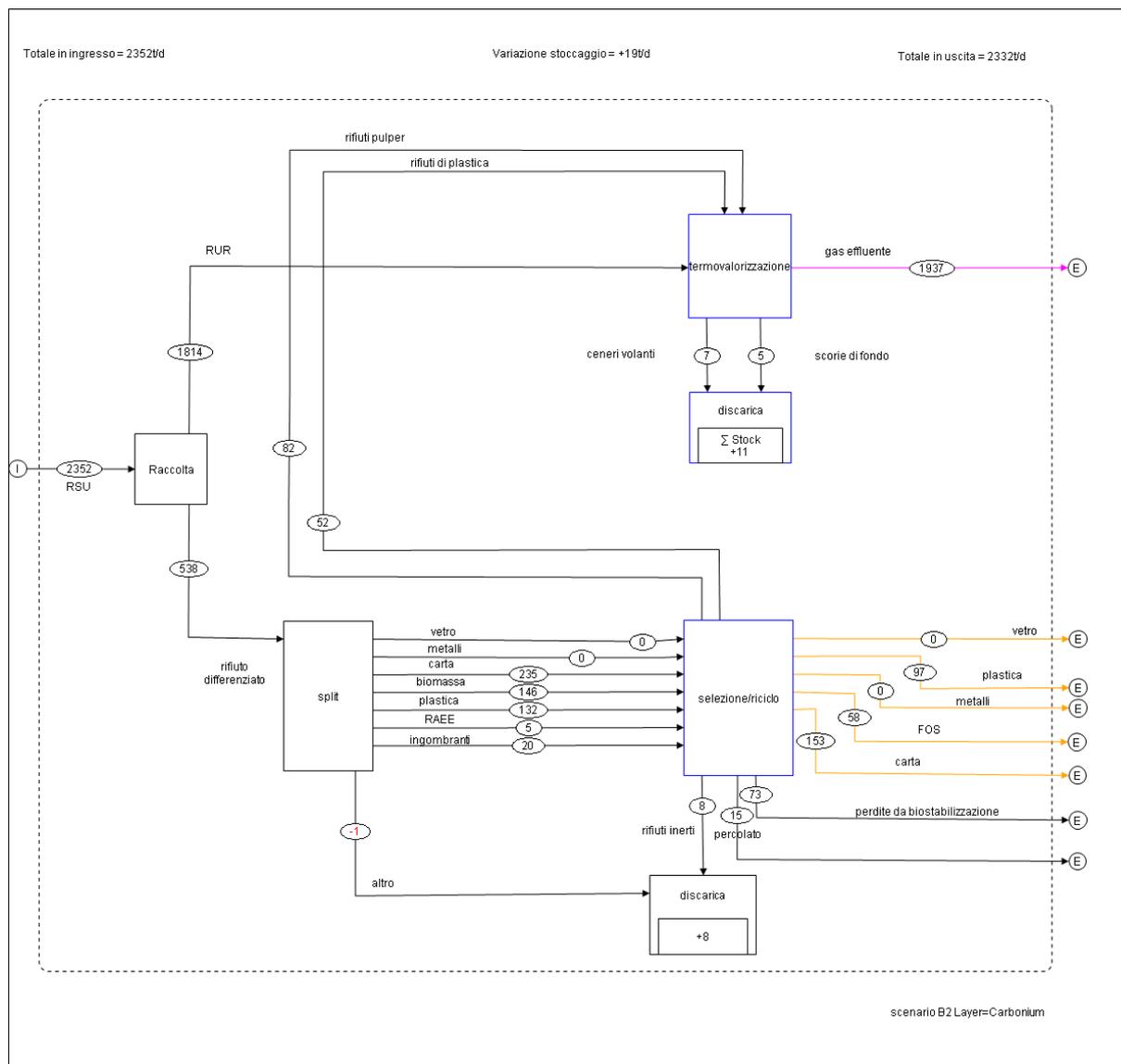


Figura 21 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer "carbonio"

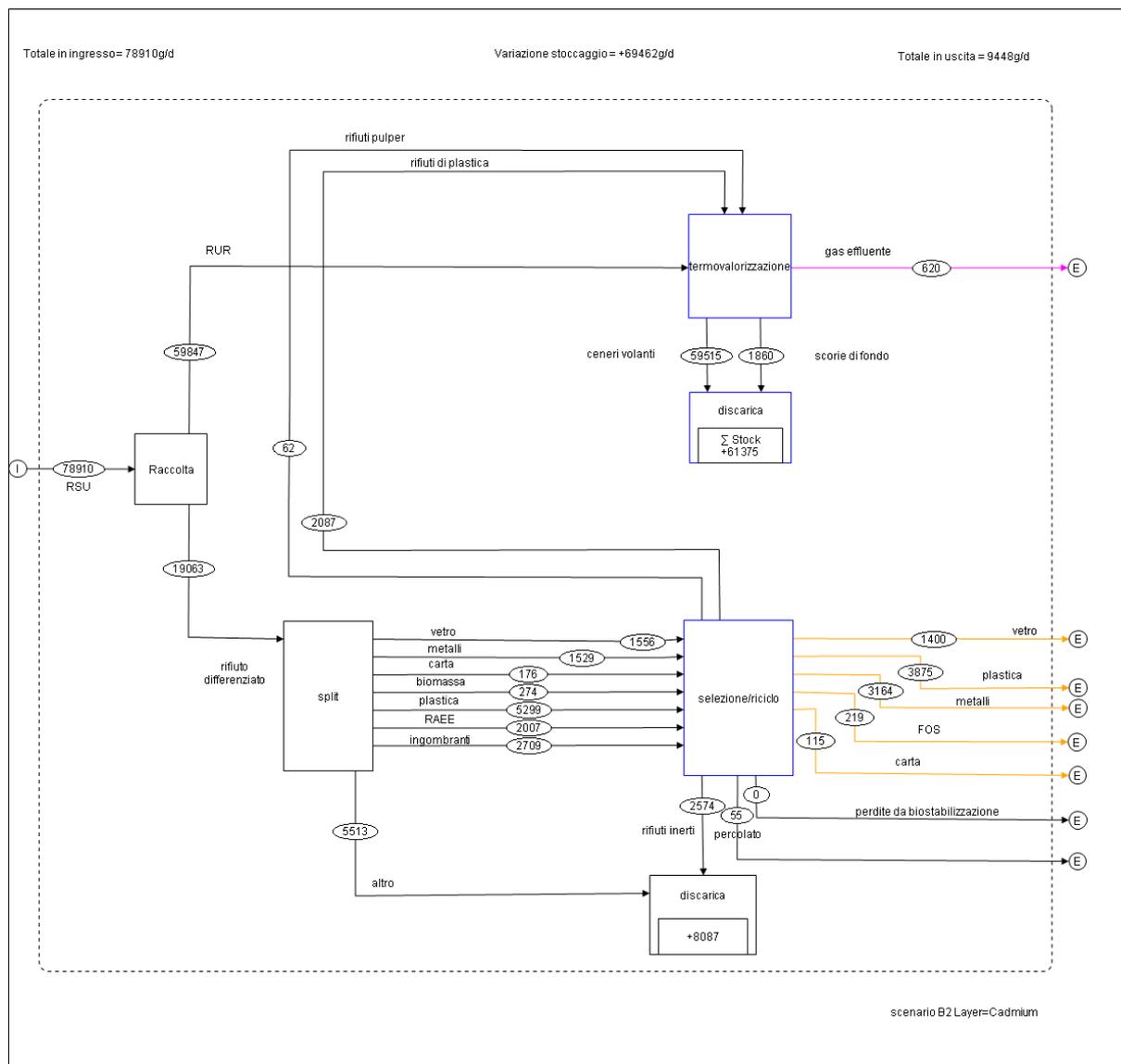


Figura 22 Bilancio di massa relativo allo scenario B2. Layer "cadmio"

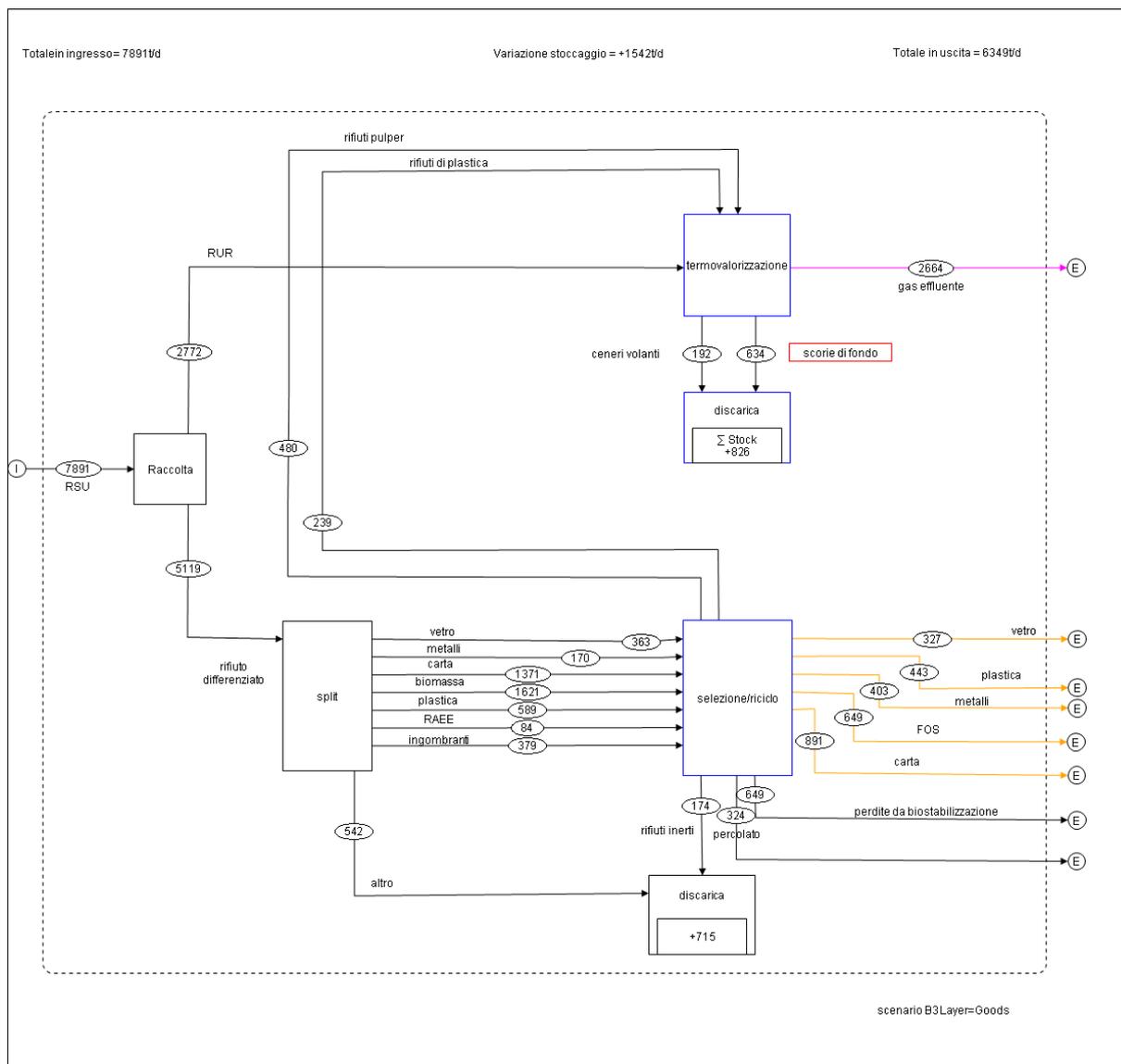


Figura 23 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer "massa di rifiuto"

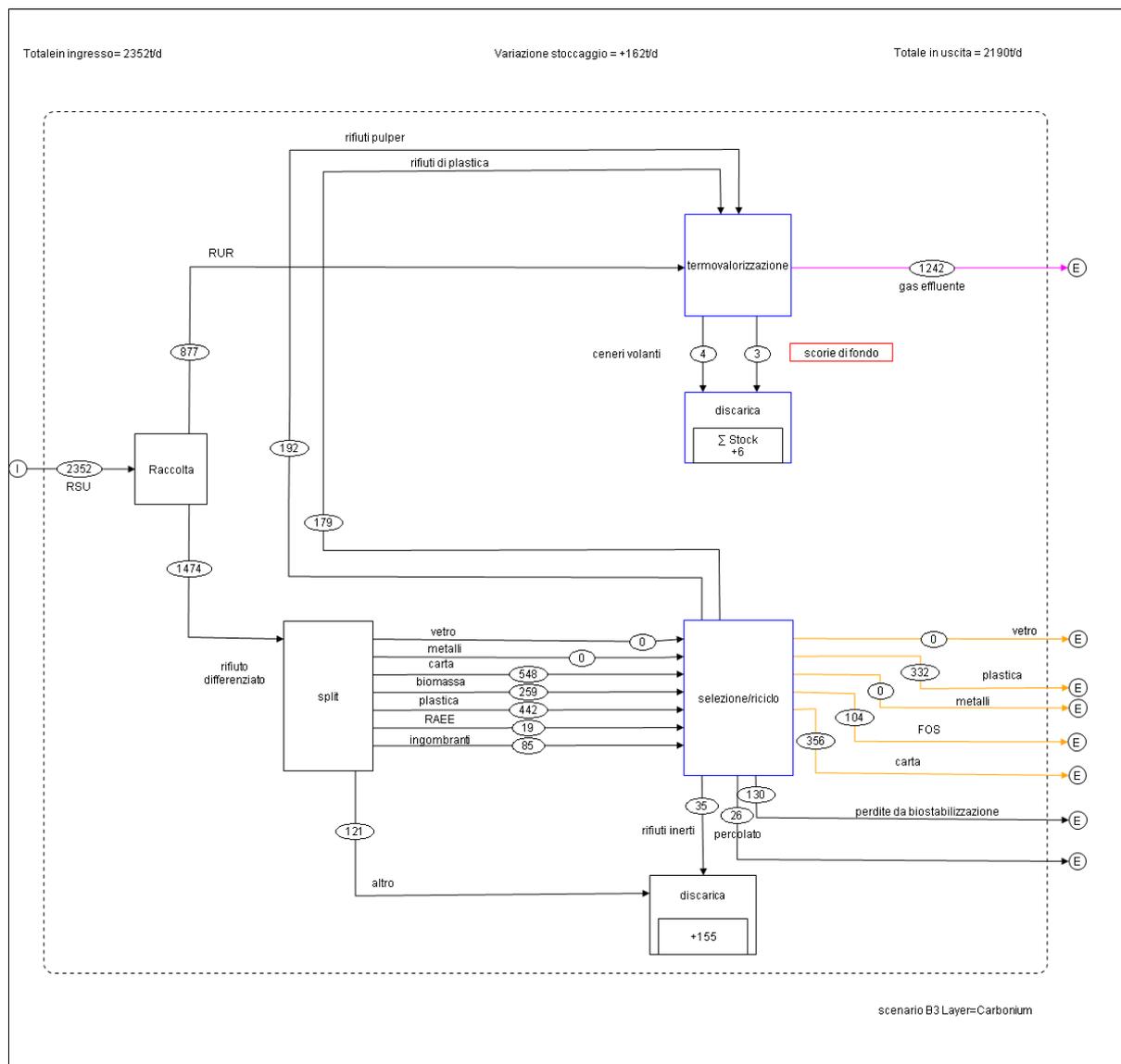


Figura 24 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer "carbonio"

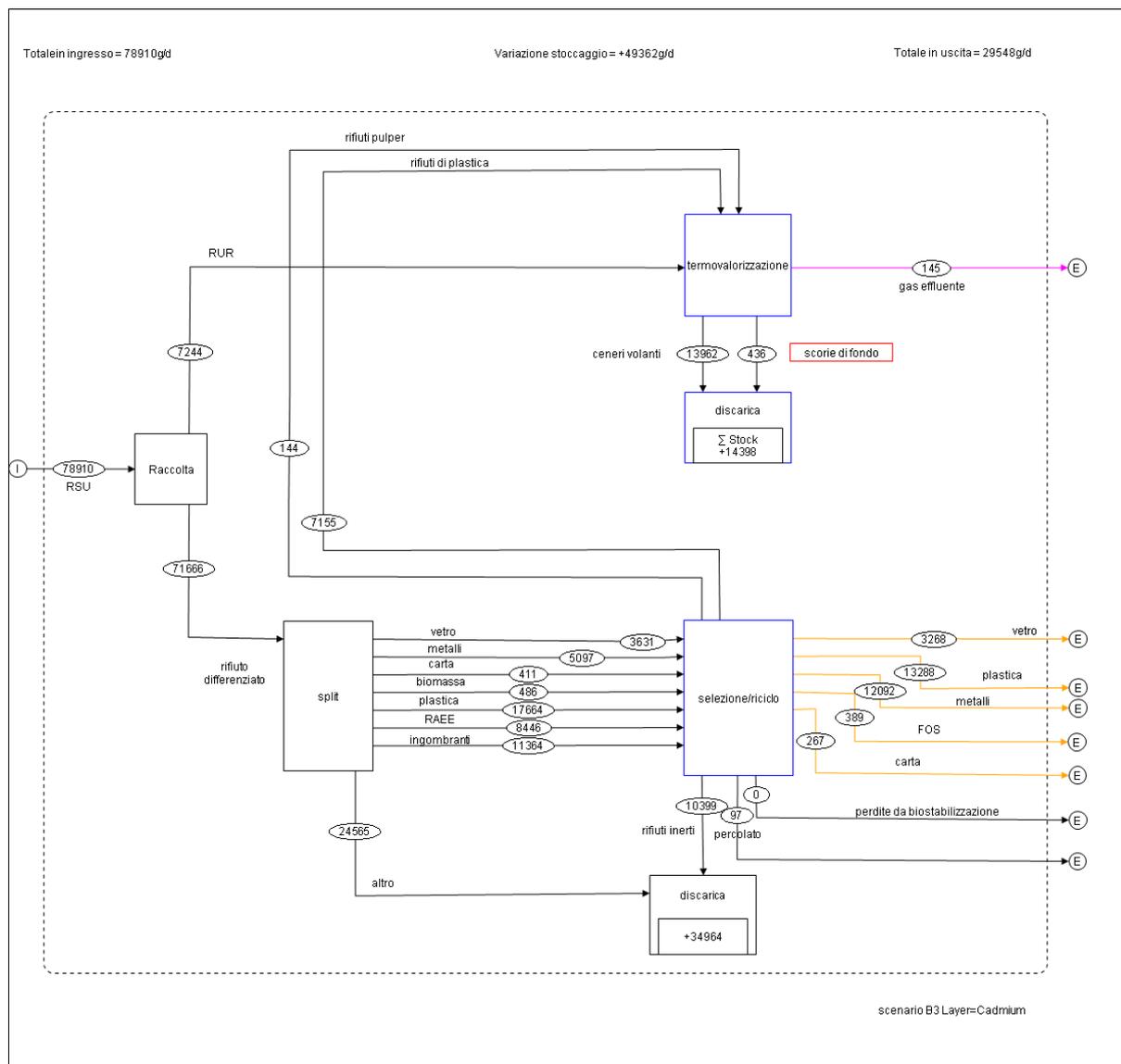


Figura 25 Bilancio di massa relativo allo scenario B3. Layer "cadmio"

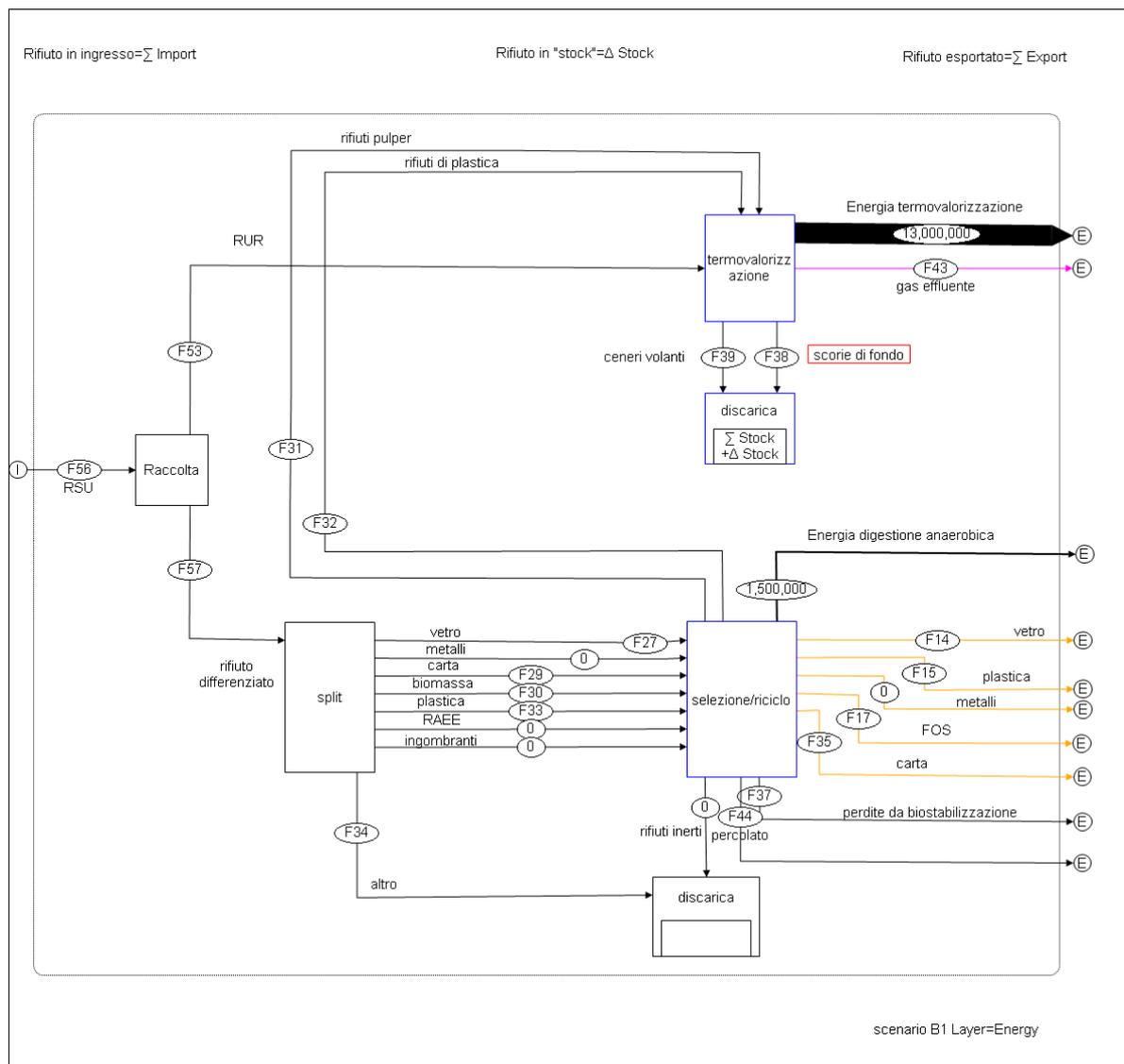


Figura 26 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B1.

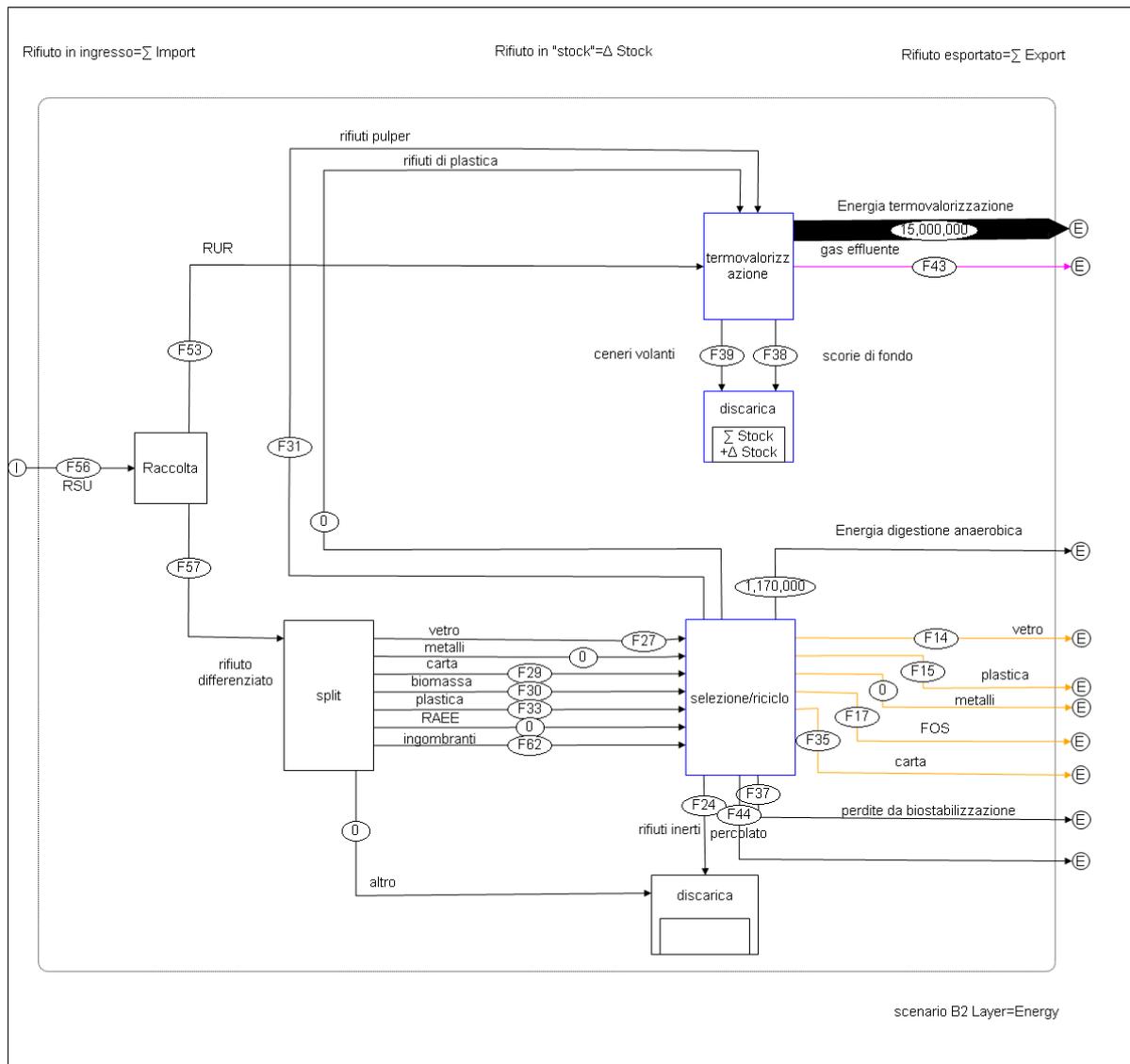


Figura 27 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B2.

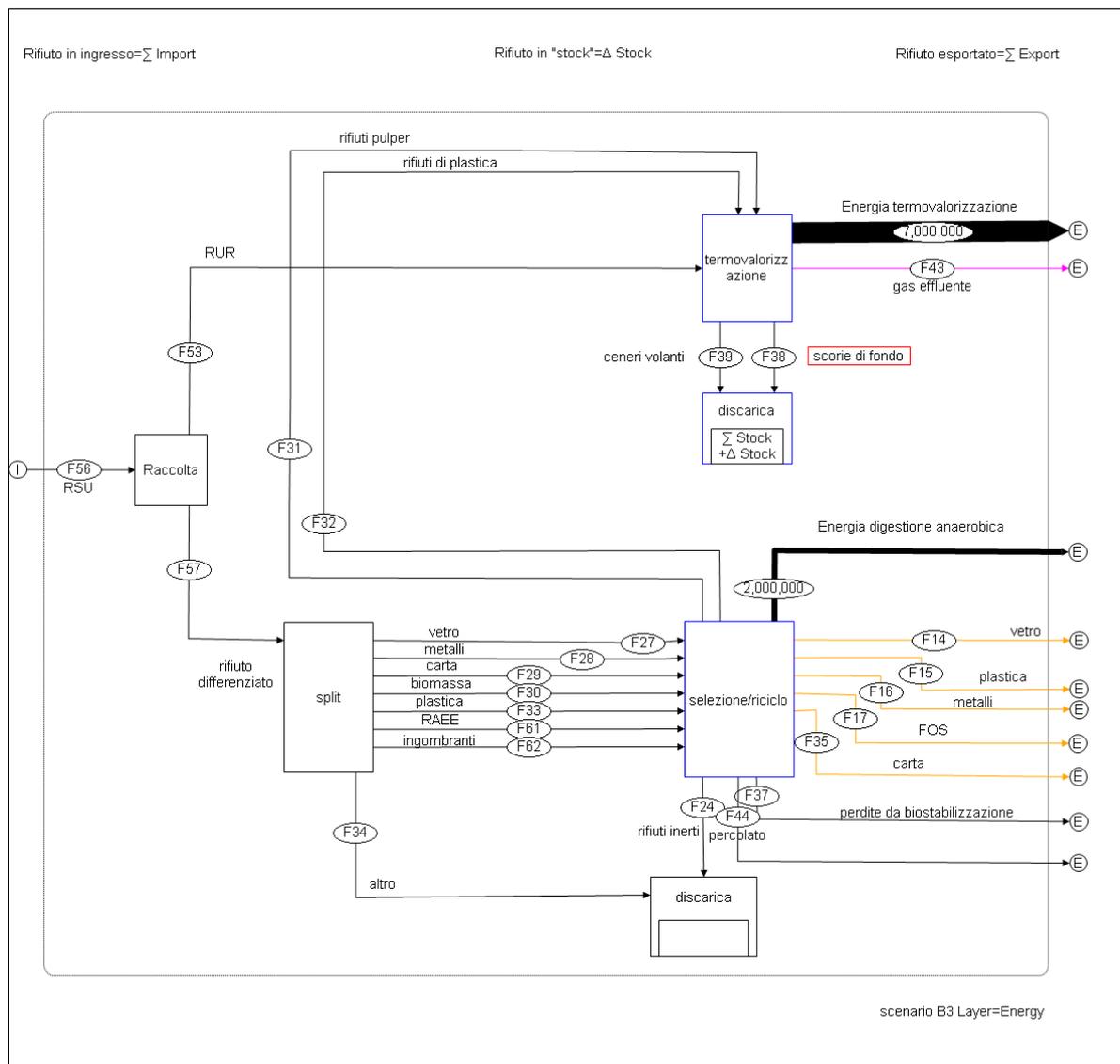


Figura 28 Flussi di import ed export di energia elettrica per lo scenario B3.

4.3.3 Dotazione impiantistica necessaria e confronto tra gli scenari

La tabella 16 riassume il numero e la potenzialità degli impianti di digestione anaerobica e di termovalorizzazione necessari a soddisfare le ipotesi dei diversi scenari A e B, sulla base delle citate analisi di flusso di massa.

	RD, %	DIGESTORI ANAEROBICI (di FORSU da RD)		TERMOVALORIZZAZIONE	
		numero impianti -	potenzialità impianto t/anno	numero impianti -	potenzialità impianto t/giorno
Scenario A1	35	14	30.000	3	900
Scenario B1	35	14	30.000	4	1.400
Scenario A2	25	11	30.000	3	1.000
Scenario B2	25	11	30.000	5	1.200
Scenario A3	65	19	30.000	2	1.000
Scenario B3	65	19	30.000	3	1.200

Tabella 16 Numero e potenzialità degli impianti di digestione anaerobica e termovalorizzazione ipotizzati nei diversi scenari A e B.

Volendo riassumere in alcune note essenziali il confronto tra i set di scenari A e B, si ritiene utile riportare in forma grafica i risultati relativi agli indicatori “volume di rifiuti a discarica” ed “energia prodotta”.

Le successive figure 29 e 30 riportano questi dati per i 6 scenari esaminati.

Risulta evidente dalla figura 29 che il volume di rifiuti da inviare a discarica è minimizzato (anche rispetto agli scenari con il 65% di raccolta differenziata) nello scenario B1, grazie al contributo di una raccolta differenziata al 35%, all'impiego di 14 digestori anaerobici per il trattamento della frazione organica raccolta differenziatamente e all'attivazione di 4 impianti per la termovalorizzazione del rifiuto residuale alla raccolta differenziata e degli scarti combustibili delle operazioni di riciclo. Con riferimento a questi ultimi residui va osservato che essi provengono da filiere (essenzialmente quelle della carta e della plastica) che sono gestite a livello nazionale e non regionale. Potrebbero quindi essere inviati, perlomeno in parte, anche ad impianti fuori regione, lasciando così un sovradimensionamento (tra il 7 e il 15%) negli impianti di termovalorizzazione regionali.

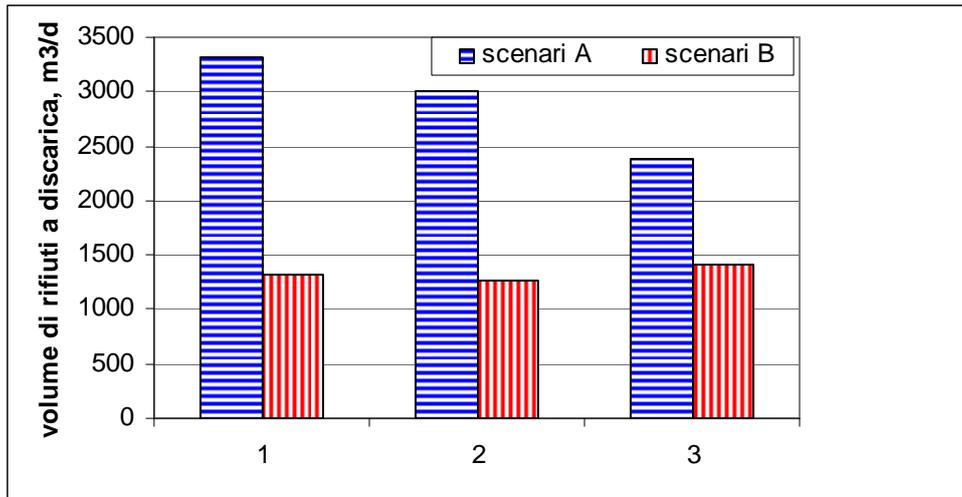


Figura 29 Confronto tra il volume totale di discarica necessario per ciascun scenario.

La figura 30 mostra come il recupero energetico netto ottenibile dagli scenari B sia chiaramente maggiore (per circa il 60%) di quello degli scenari A. Questo risultato, assieme alla minore richiesta di volumi di discarica, indica che lo scenario B1 potrebbe essere quello da preferire. Ciò significherebbe trasformare l'attuale sistema di gestione accrescendo sensibilmente (perlomeno fino al 35%) la percentuale di raccolta differenziata e dotandosi di un numero adeguato di impianti di digestione anaerobica della frazione organica raccolta differenziatamente e di impianti di termovalorizzazione per combustione diretta.

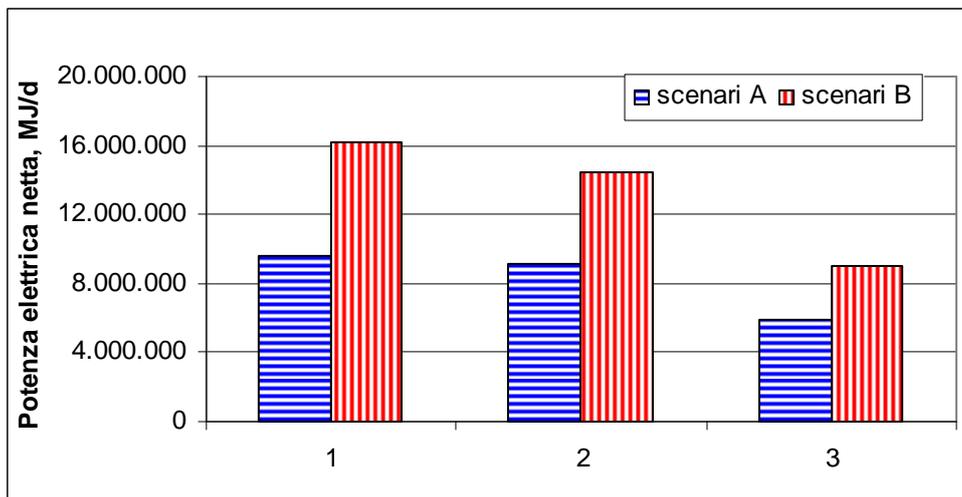


Figura 30 Confronto tra la potenza elettrica netta ottenibile per ciascun scenario.

5 CONCLUSIONI

Lo studio esamina sistemi alternativi di gestione dei rifiuti solidi urbani da attuare in Regione Campania nell'ottica di soddisfare i principali obiettivi di tutela della salute umana e di rispetto dell'ambiente fissati dalla Comunità Europea e dalle norme italiane. Il sistema attuale di gestione dei rifiuti e quelli alternativi ipotizzati all'interno degli scenari sono stati modellati con un software (STAN) di analisi dei flussi di materia che ha consentito di valutare alcuni indicatori, ritenuti i più idonei a quantificare il livello di raggiungimento degli obiettivi generali di una moderna gestione dei rifiuti.

I sei scenari futuri analizzati nello studio si differenziano da quello attuale in quanto prevedono tutti un forte incremento della raccolta differenziata e delle successive filiere di riciclo e di recupero nonché la realizzazione di impianti di digestione anaerobica della frazione organica biodegradabile raccolta differenziatamente e di impianti di termovalorizzazione per combustione diretta.

I risultati mostrano in maniera evidente i benefici che il sistema di gestione dei rifiuti campano riceverebbe da un livello di raccolta differenziata/riciclo sensibilmente più alto dell'attuale e dalla introduzione della termovalorizzazione e di trattamenti biologici avanzati. Tutti gli scenari futuri, quelli A1/A2/A3, che prevedono trattamento meccanico-biologico (MBT) e combustione del CDR, e quelli B1/B2/B3, che prevedono la combustione del rifiuto tal quale, soddisfano pienamente gli obiettivi di una moderna gestione dei rifiuti, ad un livello significativamente più elevato di quello attuale.

In tutti gli scenari esaminati si è assunta una percentuale di raccolta differenziata più del doppio di quella attuale: gli scenari A1 e B1 sono basati su un valore del 35%; quelli A2 e B2 su un valore del 25% considerato più agevolmente raggiungibile nell'immediato; gli scenari A3 e B3 assumono il valore del 65% che la legge italiana impone di raggiungere entro il 2012. La valutazione dei risultati ottenuti conferma che un'accresciuta capacità di raccolta differenziata, e quindi di riciclo a valle, migliorerà considerevolmente il sistema di gestione dei rifiuti alla luce dei richiamati obiettivi di tutela ambientale.

L'analisi dei risultati mostra comunque che l'aumento delle percentuali di raccolta differenziata, l'introduzione della digestione anaerobica, l'efficiente gestione degli impianti MBT e la termovalorizzazione del CDR da essi ottenuto sarebbe sufficiente solo ad una limitata riduzione del fabbisogno di discariche rispetto a quello attuale. Il motivo è che, nella gestione attuale, circa metà degli RSU è smaltito come ecoballe e solo la restante metà viene effettivamente conferita in discarica. Una riduzione significativa del volume di discarica necessario per lo smaltimento in sicurezza dei rifiuti potrà essere ottenuto solo se il rifiuto urbano residuale alla raccolta differenziata verrà termovalorizzato come tal quale in impianti di combustione diretta, così come previsto dagli scenari B. Tali scenari, prevedendo anche la termovalorizzazione dei rifiuti combustibili della filiera del riciclo (plastiche e scarti di pulper), prevedono un volume di discarica ben inferiore alla metà di quello attuale.

Per ciò che riguarda le emissioni di gas serra, gli scenari con elevato ricorso alla termovalorizzazione ed alla digestione anaerobica risultano vantaggiosi in quanto

consentono un pieno utilizzo dell'energia prodotta dall'ossidazione del carbonio. Il metano non captato proveniente dalle discariche così come l'anidride carbonica degli impianti di compostaggio accrescono invece le emissioni di gas serra. Risulta perciò importante costruire e gestire nuove discariche ed intervenire su quelle esistenti per ottenere la captazione del biogas ed il suo utilizzo per il recupero di energia, e convertire i trattamenti biologici aerobici dei rifiuti organici biodegradabili (compostaggio) in anaerobici con successivo utilizzo del metano prodotto. Le discariche di residui provenienti da trattamenti termici di rifiuti non emettono invece alcun gas serra.

Un cambiamento verso scenari di conversione energetica dei rifiuti comporta un ulteriore importante beneficio: i costituenti tossici dei rifiuti organici sono completamente distrutti e mineralizzati mentre i composti inorganici sono concentrati nei residui della termovalorizzazione. L'esempio del cadmio, riportato in dettaglio per tutti gli scenari esaminati, mostra che la termovalorizzazione consente di concentrare i materiali pericolosi in limitati ammontari di residui del sistema di controllo dell'inquinamento atmosferico. Questo risultato è in evidente contrasto con l'attuale sistema di gestione dei rifiuti nel quale metalli pesanti e sostanze organiche pericolose sono dispersi in discariche che richiederanno tempi molto lunghi di monitoraggio e controllo.

In conclusione, si raccomanda di trasformare profondamente l'attuale sistema di gestione dei rifiuti urbani in Campania che è principalmente basato sul trattamento meccanico-biologico e sul successivo conferimento in discarica e sullo stoccaggio di ecoballe. Gli obiettivi di tutela ambientale di una moderna gestione dei rifiuti saranno effettivamente raggiunti se la percentuale di raccolta differenziata sarà portata dall'attuale 11.3% al 35% con un'adeguata filiera del riciclo/recupero a valle, se la frazione organica biodegradabile raccolta separatamente verrà trattata per digestione anaerobica con utilizzo energetico del metano prodotto e se, infine, la termovalorizzazione per combustione sostituirà progressivamente il trattamento meccanico-biologico e l'indiscriminato smaltimento in discarica.

6 BIBLIOGRAFIA

U. Arena, M.L. Mastellone e F. Perugini. *The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options*. Chemical Eng. Journal, 96:1-3, 207-222 (2003)

U. Arena, M.L. Mastellone, F. Perugini e R. Clift, *Environmental Assessment of Paper Waste Management Options by means of LCA Methodology*. Ind. Eng. Chem. Res., 43:5702-5714 (2004)

U. Arena, U. Leone e M.L. Mastellone (a cura di). *Recupero di energia e materia da rifiuti solidi: i processi, le tecnologie, le esperienze, le norme*. AMRA scarl, Giugno 2007 (disponibile su www.amracenter.com).

Commissione Parlamentare di Inchiesta sul ciclo dei rifiuti e sulle attività illecite ad esso connesse. *Relazione Territoriale Stralcio sulla Campania*. Relatori sen. Roberto Barbieri e sen. Donato Paglionica, 13 giugno 2007

European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. August 2006

European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Treatments*. August 2006

European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 2: Waste Generation, Composition and Management Data*, 2006

European Commission - European Topic Centre on Waste and Material Flows, *Preparing a Waste Management Plan*, May 2003

S. Consonni, M. Giugliano e M. Grosso. *Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: Mass and energy balances*, Waste Management, 25:123-135 (2005)

S. Consonni, M. Giugliano e M. Grosso. *Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: Emission and cost estimates*, Waste Management, 25:136-148 (2005)

R. Cossu, G. Andreottola, A. Muntoni. *Modelling landfill gas production* in T.H. Christensen and R. Cossu, R. Stegmann (eds) *Landfilling of waste: biogas*, Chapman&Hall, 1996

G. Döberl, R. Huber, P.H. Brunner, M. Eder, R. Pierrard, W. Schönback, W. Frühwirth, H. Hutterer, *Longterm assessment of waste management options - a new, integrated and goal-oriented approach*, Waste Management& Research, 20/4: 311-327 (2002)

M. Giugliano e M. Grosso (a cura di). *La gestione integrata dei rifiuti*. Politecnico di Milano, Gennaio 2008

G. Lonati, S. Cernuschi, M. Giugliano, M. Grosso, *Health risk analysis of PCDD/F emissions from MSW incineration: comparison of probabilistic and deterministic approaches*, Chemosphere, 67:S334-343, 2007

F. McDougall, P. White, M. Franke, P. Hindle. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*. Blackwell Science Ltd., 2001

W.R. Niessen, *Combustion and Incineration Processes: Applications in Environmental Engineering*, Marcel Dekker, 1995

R. Pandolfo, S. Masi e S. Ascoli, *Stima delle emissioni di biogas dalle discariche di RSU*, Ambiente Diritto.it

F. Perugini, M.L. Mastellone e U. Arena, *A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes*. *Env. Progress*, 24/2:137-154 (2005)