

OTTIMIZZARE LA GESTIONE RIFIUTI CON L'LCA DEL SISTEMA INTEGRATO: RISULTATI DI UN CASO ITALIANO – I PARTE

S. Tunesi*

Sommario – Si presentano per un caso italiano i risultati della applicazione innovativa dell'analisi del ciclo di vita ad un sistema integrato di gestione rifiuti. Questa metodologia è proposta come strumento a supporto della pianificazione della gestione rifiuti, perché la comparazione di scenari alternativi che modellizzano un ciclo integrato permette l'ottimizzazione in termini di impatto ambientale dei flussi dei rifiuti e dello sviluppo impiantistico. Il software WRATE, specifico per l'LCA della gestione rifiuti, permette di visualizzare in maniera efficace l'organizzazione di un sistema di gestione e di formulare scenari alternativi di evoluzione. L'analisi del caso studio conferma che lo smaltimento a discarica dei rifiuti residui indifferenziati è la modalità di gestione che presenta il maggiore impatto ambientale. L'incremento dal 31 al 55% della raccolta differenziata migliora l'efficienza ambientale del sistema ma i risultati sono migliori per gli scenari a massima flessibilità impiantistica, in cui il recupero di materia è integrato con il recupero di energia dai rifiuti residui e dalle frazioni organiche. Il confronto tra diverse strategie di recupero energetico dai rifiuti residui indifferenziati ha confermato che il trattamento termico diretto risulta più efficiente rispetto al pre-trattamento meccanico biologico con recupero energetico da CDR.

OPTIMISING WASTE MANAGEMENT BY THE LCA OF THE INTEGRATED SYSTEM: AN ITALIAN CASE STUDY – 1ST PART

Summary – The results of the innovative application of the LCA to an integrated waste management (WM) system are presented. This methodology is proposed as a tool to support WM planning: the comparison of alternative scenarios modeling the whole cycle allows to optimize the infrastructural development with respect to environmental impacts. The software WRATE, specific for WM LCA, allows to effectively visualize the whole organization of the WM systems and to easily develop alternative scenarios. This 'case study' confirms that landfilling has the highest environmental impact. Increasing segregated collection from 31 to 55% improves the environmental efficiency of the system but better results were achieved for highly flexible scenarios: where the recovery of matter is integrated with energy recovery from residual waste and the organic fractions collected separately. The comparison among different strategies of energy recovery confirmed that direct incineration of residual waste is more efficient than the application of MBT with energy recovery from SDF.

Parole chiave: LCA della gestione integrata rifiuti, livelli di raccolta differenziata, recupero energetico.

Keywords: LCA of integrated waste management, recycling level, energy recovery.

* Dott.ssa Simonetta Tunesi; Strategic Environmental Consulting – LCA della gestione rifiuti e bonifica dei siti inquinati – Via Modena, 1 – 40139, Bologna – Tel. 051.464691, e-mail: s.tunesi@ucl.ac.uk.

1. L'IMPORTANZA DELLA RICOSTRUZIONE COMPLETA DEL FLUSSO DEI RIFIUTI

La gestione integrata del ciclo rifiuti è sostenuta da un sistema complesso che deve garantire lo svolgimento di tutte le fasi della gerarchia rifiuti. L'assetto di un sistema di gestione è determinato da numero, tipo e dimensione di infrastrutture e impianti, dalle loro connessioni, dall'assieme delle soluzioni organizzative e amministrative adottate per rispondere alle singole fasi della gerarchia rifiuti e ai variabili rapporti tra tassazione/incentivi e il mercato delle materie e dell'energia; ed ogni elemento gestionale influenza l'efficienza del sistema integrato. Come avviene in ogni sistema complesso, l'azione apportata su una porzione induce reazioni nel resto del sistema e il risultato sull'assieme delle attività può essere espresso correttamente solo a seguito di una valutazione integrale: analisi parziali, condotte su alcune porzioni del sistema o su singoli impianti, non includono nel calcolo tutti gli impatti che hanno realmente luogo ma li scaricano all'esterno del sistema investigato.

Unicamente ricostruendo compiutamente i flussi per quantità, origine e trattamento di ogni frazione di rifiuto diviene possibile confrontare correttamente scenari alternativi e definire quale sia, per il territorio servito, la capacità (t/a) e il numero degli impianti necessari e quale sia la migliore localizzazione di impianti e attrezzature per il recupero di materiali ed energia. Elemento fondante della valutazione degli impatti del ciclo integrato diviene quindi la *ricostruzione completa dei flussi dei rifiuti in cui si articola una specifica organizzazione gestionale* (1, 2): dalla produzione fino allo smaltimento in discarica o al recupero dei residui in uscita dagli impianti di trattamento, passando per gli impianti di trattamento intermedio o finale. I limiti delle analisi che presentano ricostruzioni parziali dei flussi dei rifiuti sono purtroppo dimostrati anche della difficoltà di elaborazione dei dati a livello nazionale e regionale: il Rapporto Rifiuti ISPRA 2011 (3) sulla pro-

duzione e gestione rifiuti in Italia al capitolo 2 sottolinea come “nel trattamento dei dati si sia rilevato che la quantità dei rifiuti urbani complessivamente gestita risulta [...] generalmente superiore al dato di produzione”. Lo studio qui presentato mostra che l’errore è dovuto alla *mancata ricostruzione sia dei percorsi che i rifiuti realmente compiono tra gli impianti sia dei relativi flussi quantitativi*. Questo errore aumenta significativamente l’incertezza della valutazione dell’efficienza ambientale ed energetica del sistema di gestione a livello nazionale e la mancanza di una metodologia corretta si riflette anche sui successivi livelli della pianificazione a scala regionale e di ATO. L’applicazione LCA qui presentata propone un metodo per superare questi errori: infatti la ricostruzione integrale dei flussi e l’esplicitazione delle connessione tra i diversi passaggi della gestione impediscono di dimenticare o, al contrario di contare due volte, le quantità dei materiali derivanti dai trattamenti intermedi, permettendo così la corretta descrizione quantitativa

dei flussi e la previsione della capacità impiantistica necessaria alla scala dell’indagine. Questa applicazione LCA risponde allo spirito della Direttiva 2008/8/CE che ne prevede l’uso come strumento di pianificazione quando stabilisce che “nell’applicare la gerarchia dei rifiuti, gli Stati membri adottano misure volte a incoraggiare le opzioni che danno il miglior risultato ambientale complessivo. A tal fine può essere necessario che flussi di rifiuti specifici si discostino dalla gerarchia laddove ciò sia giustificato dall’impostazione in termini di ciclo di vita in relazione agli impatti complessivi della produzione e della gestione di tali rifiuti.” La ricostruzione quantitativa dei flussi è quindi alla base della tracciabilità e risponde alle esigenze di trasparenza poste dai cittadini che, se non ben informati, non possono valutare la funzione svolta dai diversi impianti di trattamento e smaltimento a valle della raccolta differenziata. La Figura 1 mostra la ricostruzione del sistema integrale di gestione per uno degli sce-

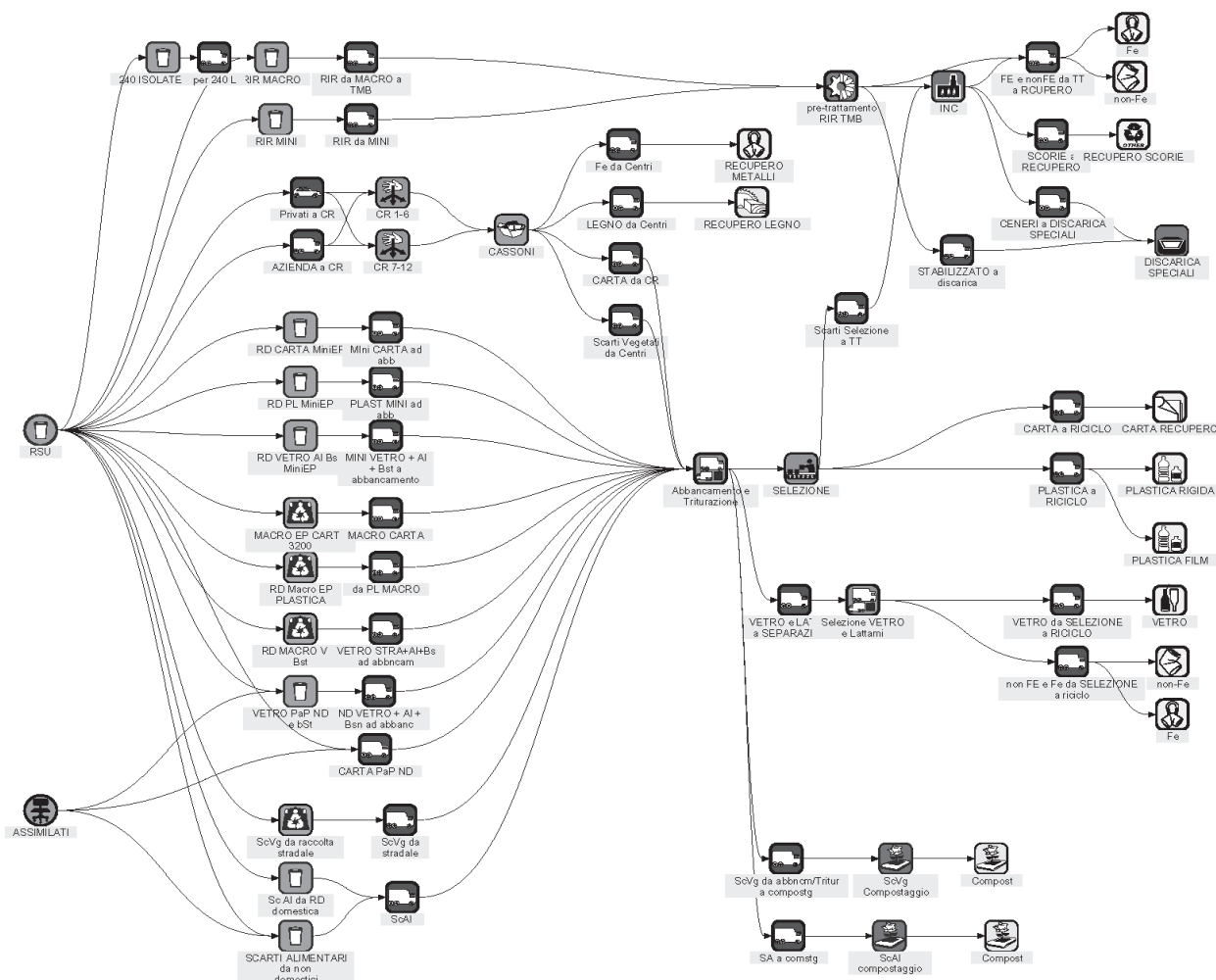


Fig. 1 – Esempio di flusso gestionale come modellizzato con l’LCA della gestione integrata

nari alternativi che prevede il pre-trattamento dei RIR.

2 IL SOFTWARE UTILIZZATO

Dall'inizio degli anni '90 sono stati sviluppati software dedicati all'analisi dei sistemi di gestione rifiuti, che si sono affiancati ai principali software commerciali; in entrambi i casi la procedura è omogenea e segue le regole indicate dalle norme della serie ISO 14044 (4). In questo studio è stato utilizzato WRATE versione 2.0.1.4, sviluppato dall'Agenzia per la Protezione Ambientale di Inghilterra e Galles. WRATE è stato sperimentato in numerose applicazioni perché ogni soggetto che presenti all'approvazione un piano di gestione rifiuti in Inghilterra è tenuto a discutere i risultati di una analisi LCA. WRATE è basato su un esteso e dettagliato data-base che include:

- circa 100 tra impianti e processi – raccolta, trasporto, stazioni di trasferimento, separazione materiali da avviare a riciclaggio, compostaggio, digestione anaerobica, trattamento termico, trattamento meccanico biologico, discarica – descritti con i dati ottenuti da misure del personale dell'Agenzia o forniti dalle aziende che gestiscono gli impianti;
- il data-base Ecolnvent, che incorpora i dati che permettono l'interfaccia con i flussi di materia ed energia dall'esterno.

L'ampio data-base permette di comparare un numero elevato di scenari alternativi e la flessibilità del software permette di adattare la modellizzazione alla specifica realtà territoriale; in particolare le distanze tra gli impianti e il ruolo del trasporto sono analizzati in dettaglio superando i limiti di studi condotti nel passato in cui il ruolo del trasporto veniva spesso a priori considerato irrilevante.

2.1 *Categorie di impatto ambientale selezionate*

Il metodo adottato da WRATE per il calcolo degli impatti, denominato "approccio orientato ai problemi" (CML 2001), è stato sviluppato dall'Istituto di Scienze Ambientali dall'Università di Leiden. Il software presenta di default i risultati per sei categorie di impatto; nell'analisi degli scenari questo studio si è concentrato sui risultati relativi a tre principali categorie di impatto:

- ADR – consumo di risorse abiotiche: comprende sia il consumo di energia, sotto forma di fonti fossili ed energie rinnovabili, che il consumo di minerali e materie prime;
- GW 100a – cambiamenti climatici: calcola le emissioni dirette o evitate di anidride carbonica equivalente integrando i risultati su un periodo di 100 anni;
- Acid Rain: calcola le emissioni dirette o evitate di SO_x, NO_x, ammoniaca.

La scelta di queste tre categorie di impatto è giustificata dal fatto che tutte hanno un effetto a scala globale e il loro comportamento non è dipendente da caratteristiche ambientali locali. Altre categorie di impatto quali il potenziale di eutrofizzazione e la tossicità acquatica esprimono impatti che dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'ambiente locale. Si ritiene che l'incertezza associata ai calcoli dei software LCA attualmente in commercio sia troppo elevata per impatti a scala così ridotta perché nel computo sono utilizzati valori generici che descrivono condizioni ambientali medie e non rispondenti alle specifiche realtà dei diversi casi studio.

Allo stesso modo, la stima degli effetti di tossicità umana non si presta a semplificazioni; la stima dei livelli di rischio richiede l'applicazione di metodologie specifiche e complesse che devono utilizzare i dati derivanti direttamente dai monitoraggi ambientali e l'uso di modelli di 'fate and transport' complessi e specificamente sviluppati (5).

Si sottolinea che l'LCA è solo uno degli strumenti di analisi degli impatti ambientali e che per valutazioni a scala locale deve essere affiancato da strumenti che meglio restituiscono le caratteristiche locali, quali la VIA e la VAS.

3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA ANALIZZATO E DEGLI SCENARI ALTERNATIVI

3.1 *I rifiuti oggetto di analisi e l'unità funzionale*

Nel 2010, anno di riferimento di questo studio, il territorio dei comuni inclusi nel caso studio ospitava 68.975 abitanti, ed in totale sono state raccolte 41.605 t di rifiuti.

La raccolta differenziata (RD) ha raggiunto un totale di 13.366 t: 6.528 t da raccolta stradale dei rifiuti urbani; 4.984 t dai 12 Centri di Rac-

Tab. 1 – Tipologia e composizione dei rifiuti urbani e assimilati inseriti nella modellizzazione LCA

| Frazione | Rifiuti urbani | | Assimilati non domestici | | Assimilati industriali | |
|------------------------|----------------|------------|--------------------------|------------|------------------------|------------|
| | RSU t/a | % | t/a | % | t/a | % |
| Carta e cartone | 7.535 | 20 | 690 | 45 | 449 | 73 |
| Plastica film | 1.373 | 4 | | | 140 | 23 |
| Plastica rigida | 3.204 | 9 | | | 10 | 2 |
| Tessili | 1.550 | 4 | | | 12 | 2 |
| Prodotti igienici | 2.457 | 7 | | | | |
| Legno | 1.109 | 3 | | | 7 | 1 |
| Cocci e ceneri | 361 | 1 | | | | |
| Vetro | 2.694 | 7 | 336 | 22 | | |
| Scarti alimentari | 8.801 | 24 | 492 | 32 | | |
| Scarti vegetali | 4.391 | 12 | | | | |
| Metalli ferrosi | 1.209 | 3 | 11 | 1 | | |
| Metalli non ferrosi | 464 | 1 | 4 | 0,3 | | |
| Sottovaglio (<20) | 1.625 | 4 | | | | |
| Rifiuti pericolosi | 29 | 0 | | | | |
| Totale in WRATE | 36.802 | 100 | 1.533 | 100 | 618 | 100 |

colta distribuiti sul territorio; 1.533 t da raccolta porta a porta presso esercizi commerciali e di ristorazione; 289 t da rifiuti assimilati di origine industriale.

La produzione complessiva e le principali frazioni merceologiche dei rifiuti gestiti, come organizzate in WRATE, sono elencate in Tab. 1. L'unità funzionale è data dal peso totale dei rifiuti gestiti immessi in WRATE: 39.389 t/a.

Nell'unità funzionale è incluso anche il quantitativo stimato di 438 t/a da compostaggio domestico, programma avviato da oltre 3 anni con la distribuzione totale di 3.500 compostiere.

Non sono stati inseriti in WRATE i materiali raccolti separatamente corrispondenti a frazioni quali RAEE, amianto, rifiuti ingombranti. Il software non permette il riciclaggio di queste frazioni; nella modellizzazione questi materiali avrebbero dovuto essere avviati a smaltimento o trattamento termico, introducendo un elevato errore nel calcolo degli impatti ambientali rispetto alle operazioni di recupero realmente attivate nella gestione corrente o ipotizzate negli scenari alternativi.

3.2 Il flusso dei rifiuti al 2010

Nella definizione del flusso dei rifiuti si sono distinte per origine e modalità di raccolta quattro fonti di rifiuti:

- *compostaggio domestico* (non mostrato in Figura 1);
- *rifiuti urbani* suddivisi in:
 - *rifiuti indifferenziati residui* e frazioni raccolte in maniera differenziata; per entrambi i flussi si ha: raccolta di prossimità con cassonetti di volume tra 2.200 e 3700 L e raccolta di prossimità a maggiore densità con cassonetti da 1.100 L;
 - frazioni conferite ai *Centri di Raccolta*: con trasporto dei privati e dell'azienda;
- *rifiuti assimilati generati da attività di ristorazione, commerciali e utenze complesse*: raccolta diretta Porta-Porta, con modalità variabili e descritte nel dettaglio utilizzando gli elementi di WRATE;
- *i rifiuti assimilati generati dalle utenze industriali*: raccolti in cassoni di circa 20mc di volume (non mostrati in Figura 1).

3.3 I criteri di formulazione degli scenari alternativi

Sono stati formulati scenari alternativi per valutare la variazione negli impatti ambientali risultante dall'incremento dei livelli di raccolta differenziata e dalla modifica del trattamento dei rifiuti residui indifferenziati e delle frazioni organiche raccolte separatamente.

La Figura 1 mostra che, per facilitare la formulazione di scenari alternativi, il diagramma

è stato organizzato per flussi di rifiuti omogenei che permettono di modificare agevolmente gli scenari rispetto a:

- smaltimento o recupero energetico dei RIR (parte superiore del diagramma);
- aumentare la RD da rifiuti urbani e assimilati e controllare il trasporto agli impianti di separazione e valorizzazione delle diverse frazioni (porzione intermedia);
- evidenziare la raccolta separata degli scarti alimentari e degli scarti vegetali, che possono essere avviati a compostaggio o a recupero energetico (porzione inferiore).

Per questo caso studio due serie di scenari alternativi sono state formulate sulla base dei seguenti criteri (questo primo articolo descrive i risultati per gli scenari al 55%, la seconda parte di questo studio (RD al 65%) sarà discussa in un articolo di prossima pubblicazione):

- ottimizzare l'impiantistica di selezione e valorizzazione delle frazioni da RD con la realizzazione di una unica stazione di selezione e preparazione al recupero;
- valutare l'effetto di un incremento della RD dal 31% al 55% e al 65%: l'incremento sarà raggiunto sia per effetto di una maggiore efficacia della raccolta dei rifiuti urbani che per l'estensione dei servizi di RD ad utenze commerciali e di ristorazione;
- integrare nella gestione il recupero di energia dai rifiuti residui indifferenziati.
- recuperare energia dalla biomasse raccolte separatamente: scarti vegetali e alimentari.

3.4 Scenari alternativi

Per raggiungere i livelli di RD ipotizzati si è assunta per ogni frazione merceologica la resa di intercettazione riportata in Tabella 2, i valo-

Tab. 2 – Rese di intercettazione % assunte per le singole frazioni

| | Rese di intercettazione |
|-------------------|-------------------------|
| Plastiche | 0,30 |
| Carta | 0,60 |
| Vetro | 0,60 |
| Legno | 0,75 |
| Stracci/tessili | 0,10 |
| Scarti alimentari | 0,60 |
| Residui vegetali | 0,70 |
| Ferrosi | 0,60 |
| Non Fe e lattami | 0,60 |

ri sono stati assunti sulla base della rassegna di altre esperienze:

- Si osservi l'elevato livello di intercettazione richiesto per le frazioni organiche: legno, scarti alimentari e vegetali. La RD dovrà essere riorganizzata in modo da soddisfare questi obiettivi.

Lo *Scenario Corrente 2010* descrive nel dettaglio la gestione reale del 2010, caratterizzata da una RD al 31% e l'avvio di tutti RIR a discarica. Gli *Scenari alternativi* sono basati sulle seguenti ipotesi:

- **SERIE 1 – RD al 55% dei rifiuti gestiti:** RIR 18.061 t/a; RD 20.272 t/a.
- **1A DISC:** RIR a discarica; le frazioni organiche raccolte separatamente a compostaggio;
- **1B TT:** i RIR sono avviati direttamente a trattamento termico con recupero energetico (efficienza di recupero dell'energia elettrica $\eta_{el}=25\%$) e sistemi di trattamento dei fumi a secco;
- **1C MBT/TT:** i RIR sono avviati ad un impianto di pre-trattamento meccanico-biologico (TMB) che utilizza una tecnologia ampiamente commercializzata in Italia. La frazione organica biostabilizzata è avviata a discarica per riempimento; la frazione secca (CDR = 8.465 t/a) a trattamento termico con recupero energetico ($\eta_{el}=25\%$) e sistemi di trattamento dei fumi a secco;
- **1D Disc/AD/tt:** modifica 1A prevedendo il recupero energetico dalle frazioni organiche: scarti alimentari (3.235 t/a) a digestione anaerobica, con recupero di elettricità; scarti vegetali (6.160 t/a) a trattamento termico con recupero mediante cogenerazione ($\eta_{el}=25\%$, $\eta_{th}=35\%$);
- **1E TT/AD/tt:** modifica 1B con il recupero energetico delle frazioni organiche come in 1D;
- **1F MBT/50CEM:** modifica 1C con il recupero energetico in cementificio del CDR prodotto dal pre-trattamento TMB (si è assunto che il cementificio sia a 100 km di distanza).

In tutti gli scenari alternativi i flussi da RD sono avviati ad un unico impianto per essere sottoposti ad abbancamento delle frazioni omogenee, ad una prima pulizia dei materiali e al trasporto agli impianti di riciclaggio o ulteriore separazione e pulizia.

In questa analisi si è assunto che l'energia prodotta nei processi di recupero energetico dai rifiuti sostituisca un quantitativo equivalente del mix elettrico italiano.

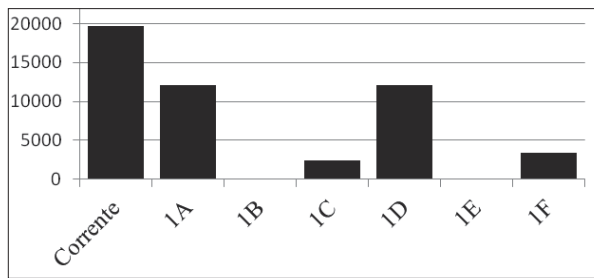


Grafico 1 – Rifiuti biodegradabili a discarica [t/a]

4. RISULTATI

4.1 Indicatori di sintesi descrittivi degli scenari

WRATE permette di classificare gli scenari anche in base ad alcuni indicatori di sintesi, quali i quantitativi di rifiuti riciclati o avviati a discarica, e l'energia recuperata.

Il Grafico 1. Rifiuti Biodegradabili a discarica' classifica gli scenari sulla base dell'indicatore di sintesi che si propone sia assunto a indice di una corretta gestione dei rifiuti: la *quantità di rifiuti biodegradabili smaltiti a discarica*. Il grafico mostra che gli scenari basati sul recupero energetico con trattamento termico diretto dei RIR (1B e 1E) eliminano il ricorso alla discarica.

4.2 Confronto tra gli Scenari: Multi Life Cycle Assessment

L'analisi degli impatti descritti dal MLCIA – Multi Life Cycle Impact Assessment – restituisce

(Grafico 2) una visione di sintesi: gli scenari sono confrontati rispetto al rendimento complessivo della gestione.

Il confronto tra categorie espresse da unità di misura diverse è reso possibile dalla normalizzazione rispetto alla "European Person Equivalent": ogni unità di misura originaria è divisa per il valore corrispondente di consumo/emissione medio di un abitante europeo, ottenendo valori adimensionali e confrontabili.

Si sottolinea che valori negativi indicano una riduzione dell'impatto ambientale: valori inferiori allo zero indicano risparmio di risorse, emissioni evitate di gas climalternati e di sostanze acidificanti. La riduzione degli impatti è conseguenza del recupero di materia e di energia dai rifiuti che permette la sostituzione dei materiali vergine impiegati nelle attività produttive e dei combustibili usati per produrre l'energia distribuita in rete.

I risultati sintetizzati nel Grafico 2 mostrano che lo scenario Corrente risulta consistentemente il peggiore, confermando quanto già rilevato ampiamente in letteratura: il significativo impatto ambientale di una gestione basata sullo smaltimento a discarica dei rifiuti indifferenziati (6).

Non vi è invece uno scenario che risulti sempre il migliore rispetto a tutte le categorie di impatto.

Gli scenari 1A e 1D, che aumentano la RD al 55% ma mantengono come scelta strategica lo smaltimento dei RIR in discarica, mostrano per tutte le categorie di impatto un miglioramento inferiore rispetto a quanto raggiunto dagli altri scenari: 1A contribuisce ad-

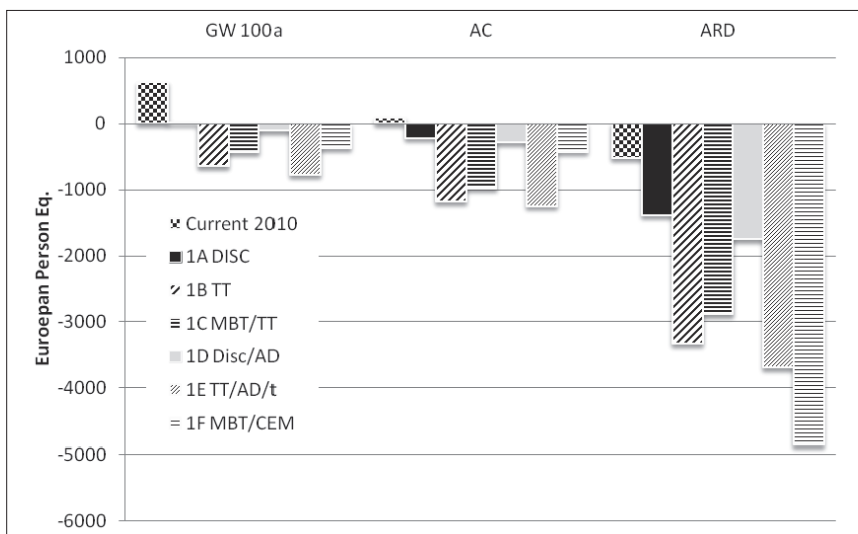


Grafico 2 – Confronto di sintesi del rendimento ambientale degli scenari, relativamente alle tre categorie di impatto selezionate