



*Luciano Morselli,
Laura Piccari, Ivano Vassura,
Fabrizio Passarini
Dip. di Chimica industriale
e dei Materiali
Università di Bologna
ivano.vassura@unibo.it*

GLI STRUMENTI DI CONTROLLO E VALUTAZIONE DELLA CORRETTA GESTIONE DEI RIFIUTI

Al fine di migliorare e controllare un Sistema Integrato di Gestione dei Rifiuti, strumenti quali il sistema integrato di monitoraggio ambientale, l'analisi di rischio e la valutazione del ciclo di vita possono identificare punti critici e individuare strategie di miglioramento.

Il problema della gestione dei rifiuti deve essere affrontato secondo una logica gerarchica che pone al vertice la prevenzione, quindi il riciclo e recupero dei materiali che comprendono processi di trattamenti meccanici, biologici, chimici e termici, il recupero di energia quando e se possibile ed infine lo smaltimento in discarica, a cui devono essere destinati meno rifiuti possibili. Tutti questi passaggi sono ineludibili poiché l'efficienza degli stadi ai livelli superiori si riflette sulle richieste agli stadi successivi.

Tale approccio gerarchico, promosso dalla Comunità Europea, propone quindi un percorso complesso che prevede l'impiego di molteplici tecniche e strategie che possono essere ottimizzate con la realizzazione di un Sistema Integrato di Gestione dei Rifiuti (SIGR). Gli obiettivi sono la riduzione della quantità e pericolosità complessiva dei rifiuti, la riduzione degli sprechi di materie prime con politiche di prevenzione e un elevato recupero e riciclaggio dei materiali al fine di diminuire la frazione destinata allo smaltimento.

I SIGR sono sistemi dinamici improntati sul territorio che devono evolvere assieme alla società e all'avanzamento tecnologico oltre

che ai cambiamenti delle strategie politiche indotti dalle evoluzioni socio-culturali.

Quindi un SIGR se da un lato deve avere un approccio globale al problema rifiuti, dall'altro è strutturato sul territorio di competenza e quindi sulla base di quelle che sono le condizioni al contorno, quali la morfologia del territorio, la densità di popolazione, l'economia, i rifiuti prodotti, le realtà gestionali pregresse ecc. Al di là della diversità intrinseca dei diversi SIGR tutti devono porsi l'obiettivo della sostenibilità ambientale che non può prescindere da un contesto di sostenibilità economica e dall'accettabilità sociale. Tutto questo deve essere costruito sulla base di conoscenze scientifiche e comprovate e su una trasparente informazione del pubblico. A tal fine è necessario dotarsi di strumenti d'analisi oggettiva che permettano di valutare gli impatti di un sistema di gestione e validarne l'efficacia oltre che supportare le scelte di nuove strategie e tecnologie. Tra questi strumenti spiccano l'analisi del ciclo di vita (LCA), il Sistema integrato di monitoraggio ambientale (SIMA) e l'analisi di rischio (RA).

Analisi del ciclo di vita

In una corretta politica di gestione dei rifiuti è indispensabile ragionare in termini di filiera, in modo tale che le proposte avanzate nella pratica tengano conto in modo coerente di tutti i costi economici ed ambientali e le implicazioni su tutti gli stadi prima citati. Un SIGR non può prescindere da una valutazione di tutto il ciclo di vita in cui le diverse fasi di trattamento dei rifiuti non possono essere considerate disgiunte tra loro. A tal fine l'analisi del ciclo di vita o *Life Cycle Analysis* (LCA) è uno strumento analitico che consente di studiare gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali che possono essere generati lungo tutta la vita del prodotto/servizio (*dalla culla alla tomba*), dall'acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e l'utilizzazione, fino allo smaltimento.

La metodologia LCA viene definita dalla norma ISO 14040. Tale analisi viene svolta secondo cinque fasi che sono: 1) definizione di obiettivi e campo di applicazione; 2) analisi dell'inventario ed elaborazione dati (LCI); 3) modellizzazione (tramite software dedicati); 4) valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA); 5) interpretazione e verifica dei risultati.

Le principali categorie d'impatto ambientale che prende in considerazione riguardano "l'utilizzo di risorse", "la salute dell'uomo" e le "conseguenze ecologiche".

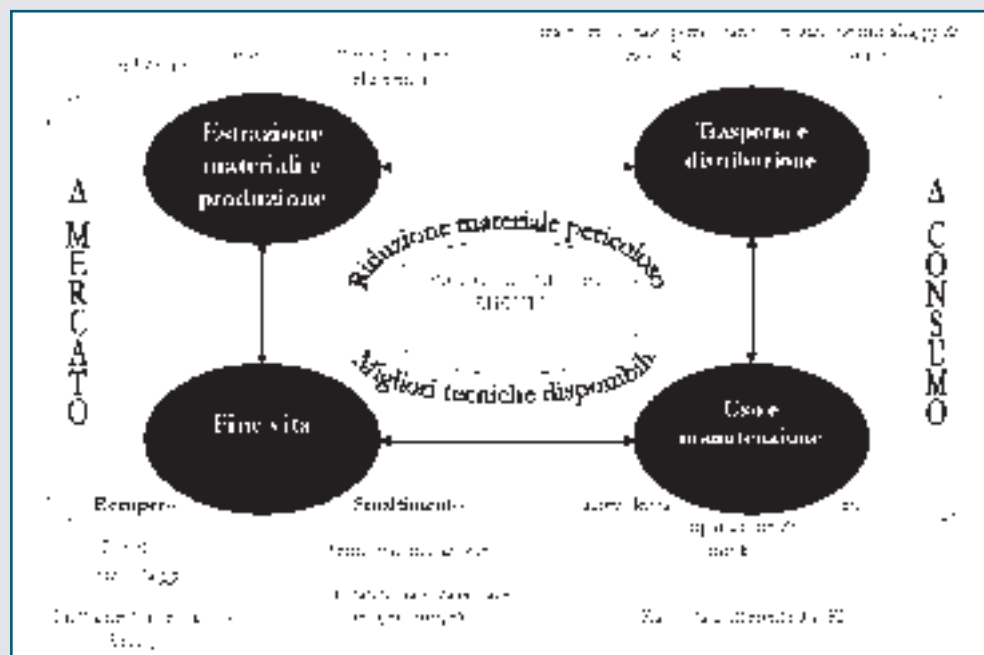
Nel caso specifico del SIGR questo approccio metodologico può essere applicato per tracciarne il profilo ambientale complessivo, identificando gli impatti principali della gestione dei rifiuti. Queste informazioni permettono di quantificare la qualità dell'intero sistema adottato. Inoltre è possibile studiare anche parti specifiche del SIGR per fornire dati comparativi fra diverse soluzioni tecnologiche. In questa veste l'LCA è uno strumento di supporto alle decisioni strategiche da effettuare al fine di operare con le tecniche migliori disponibili (BAT), come richiesto dalle norme europee (IPPC) (Schema 1).

Sistema integrato di monitoraggio ambientale

Di fatto la conoscenza ed il controllo delle emissioni dei vari impianti dettato da norme tecniche ufficiali, sebbene risultino prioritari, non permettono di valutare da soli le interazioni e il peso complessivo sull'ambiente. Come visto, tramite l'LCA è possibile

individuare i processi potenzialmente meno impattanti per l'ambiente, in ogni caso gli impatti delle emissioni prodotte devono essere necessariamente valutati sul territorio attraverso un monitoraggio ambientale che includa diverse matrici. Da un punto di vista strettamente operativo un Sistema integrato di monitoraggio ambientale (SIMA) è strutturato secondo fasi successive (Schema 2).

In primo luogo si valutano le caratteristiche tecnologiche e le condizioni di esercizio dell'impianto, quindi si caratterizzano le fonti di emissione. In questa fase sono presi in considerazione i flussi di massa e le concentrazioni degli inquinanti presenti negli effluenti di processo, si calcolano i fattori di emissione (massa di inquinante emesso/massa di rifiuto trattato) e si individuano gli aspetti critici dell'impianto. Questa prima fase permette, assieme ad un attento studio del territorio circostante, di individuare gli Indicatori Ambientali (IA). Gli IA possono essere definiti come quei parametri quali e quantitativi strettamente correlati alla fonte di emissione e come tali in grado di riflettere variazioni significative di questa, permettendo di valutare eventuali pressioni ed impatti sull'ambiente. Quindi gli IA devono fornire segnali utili ad identificare un eventuale rilascio anomalo nell'ambiente. Dal confronto tra la loro concentrazione e quella di "fondo ambientale", deve essere possibile risalire ad un rapporto di causa-effetto. Una fase molto importante è la valutazione, tramite modelli matematici di dispersione, della dinamica dei fenomeni diffusivi degli inquinanti nell'ambiente. Tali studi, entro certi margini di affidabilità, consentono di arrivare ad ottenere mappe previsionali di dispersione delle sostanze emesse dalla sorgente considerata. Per le emissioni atmo-



Schema 1 - Fasi del ciclo di vita di prodotto e delle pratiche di gestione dei rifiuti associate

CHIMICA & AMBIENTE

sferiche è possibile individuare le aree dove si ha potenzialmente la maggior ricaduta degli inquinanti emessi al camino, ovvero, le aree sottoposte al maggior carico inquinante. Analogamente è possibile applicare i modelli di dispersione alle emissioni di liquidi e solidi nei corpi d'acqua superficiali o nel terreno e quindi in falda. La conoscenza teorica del potenziale impatto dell'impianto monitorato permette di razionalizzare la rete di monitoraggio individuando i corpi recettori che rappresentano il destino finale di diffusione degli inquinanti. Si identificano quindi aree di campionamento caratterizzate da massima o minima influenza dell'impianto. Il monitoraggio può prendere in considerazione diverse matrici ambientali (deposizioni atmosferiche, acqua, suolo, vegetali ecc.) per valutare complessivamente il destino degli inquinanti. Questa fase implica anche la messa a punto di opportune procedure di campionamento, trattamento ed analisi, quando non siano standardizzate.

Effettuato monitoraggio per un periodo che generalmente non è inferiore all'anno, è importante massimizzare l'informazione. I dati ottenuti sono elaborati con il supporto di tecniche chemiometriche per individuare relazioni di causa-effetto tra la concentrazione dei contaminanti presenti nelle emissioni e quelle registrate nelle matrici ambientali analizzate.

In conclusione il SIMA permette di valutare l'impatto ambientale della fonte di contaminazione ed individuare eventuali fonti secondarie. Le informazioni ottenute consentono di elaborare piani di

intervento operativi per ridurre al minimo la pressione ambientale della sorgente contaminante e successivamente di verificare l'efficacia degli interventi adottati.

Infine il SIMA è uno strumento di controllo che è ben integrato sia con l'LCA che può fornire tutti i dati in riferimento necessari dell'impianto (LCI), sia con l'analisi di rischio, dato che ha in comune lo studio modellistico della diffusione delle emissioni.

Analisi del rischio

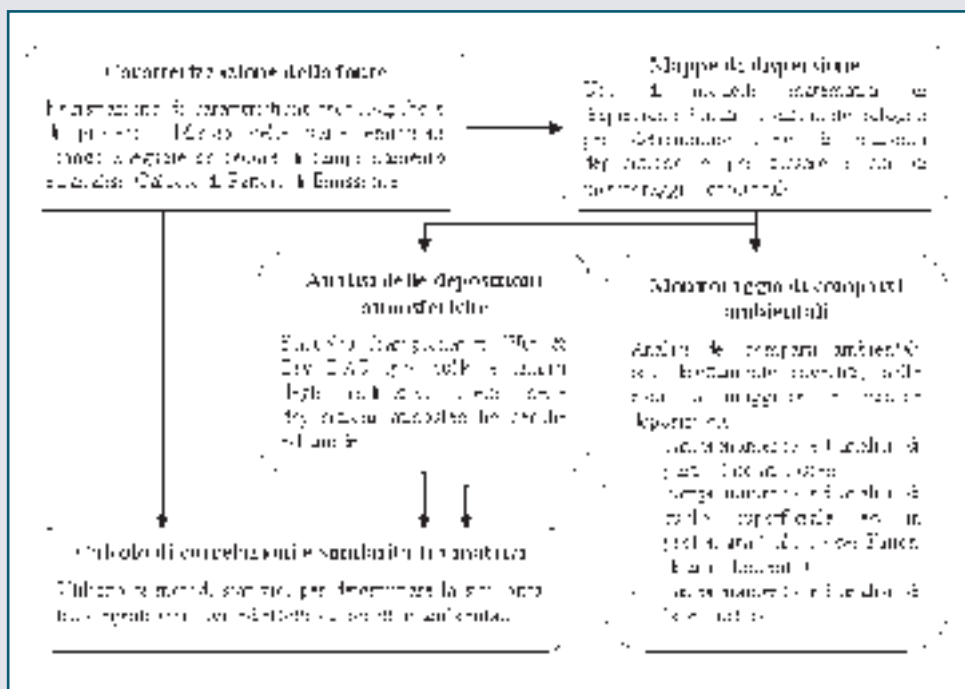
Definita dalla US National Academy of Science (NRC, 1983) come una *caratterizzazione dei potenziali effetti dannosi dovuti all'esposizione a rischi ambientali*, l'analisi di rischio rientra oggi a pieno titolo tra gli strumenti di validazione di un SIGR: oltre a valutare il possibile impatto sull'ambiente sottoposto alla pressione delle sostanze inquinanti emesse da un impianto (rischio ecologico), consente di stimare quanto queste possano essere pericolose per la popolazione presente sul territorio (rischio sanitario), attraverso una valutazione del loro movimento dalla sorgente al bersaglio, passando per una o più matrici ambientali.

Non ancora adeguatamente supportata a livello legislativo, ma sostenuta da solide basi scientifiche e metodologiche, l'analisi di rischio diventa oggi una parte fondamentale del processo decisionale, grazie soprattutto alla trasparenza ed alla replicabilità della procedura di analisi.

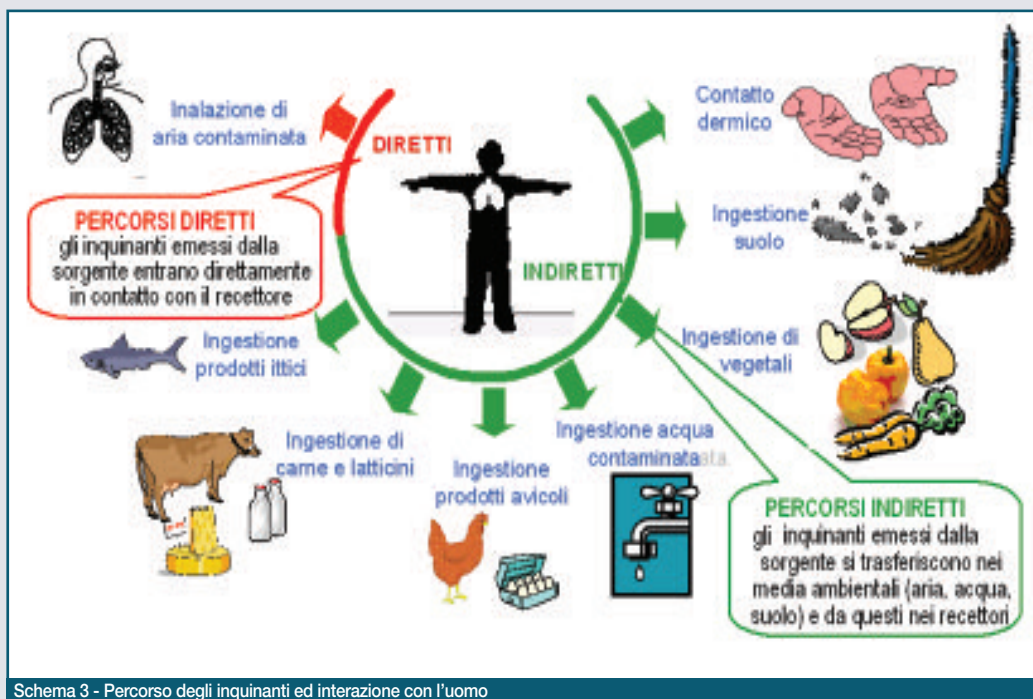
La valutazione, condotta avvalendosi di strumenti di statistica e modellistica ambientale, segue un percorso impostato su quattro fasi sintetizzate di seguito.

Innanzitutto occorre *identificare e descrivere che cosa rappresenta il pericolo*, non essendo questo riconducibile, come sarebbe pensabile in prima istanza, alle sole proprietà tossicologiche della/e sostanza/e di interesse ma anche alle caratteristiche della sorgente emissiva, nonché al contesto territoriale limitrofo.

È soprattutto grazie alla definizione di queste che possono essere derivate tutta una serie di informazioni che diventano input del modello di dispersione (di cui si è già accennato in precedenza) per la descrizione del percorso dell'inquinante nel media di interesse e delle trasformazioni chimico/fisiche che possono avere



Schema 2 - Fasi del sistema integrato di monitoraggio ambientale



Il processo di valutazione non si conclude con la stima quantitativa del rischio (del quale è possibile tra l'altro, con strumenti di gestione dell'informazione territoriale quali i GIS, darne una rappresentazione sul territorio) ma deve essere integrato e supportato da un adeguato processo di comunicazione e gestione dei risultati ottenuti (Schema 3).

Conclusioni

In conclusione un SIGR può e deve essere valutato non solo sulla base della corrispondenza rispetto agli obiettivi legislativi raggiunti, come ad esempio percentuale di raccolta dif-

ferenziata o efficienza di riciclaggio, ma anche sulla base della prestazione complessiva risultante dall'applicazione di strumenti di verifica quali-quantitativa come quelli qui presentati.

Tali strumenti risultano fondamentali nel supporto alle decisioni da parte delle amministrazioni locali, che devono occuparsi non solo di pianificare uno sviluppo sostenibile, ma anche di sostenere con criteri oggettivi e scientificamente fondati le proprie scelte nei confronti della cittadinanza.

luogo. I valori di output del modello devono poi essere nuovamente processati attraverso un articolato set di equazioni matematiche per poter determinare l'effettiva esposizione.

A questo punto, correlando la dose di inquinante che arriva al recettore con la possibilità che questa procuri effetti negativi sulla salute (risposta), è possibile quantificare la severità dell'impatto (caratterizzazione del rischio) e raffrontarla con il livello di accettabilità preposto dagli enti di controllo.

Bibliografia di riferimento

- [1] L. Morselli *et al.*, *Waste Management*, 2007, **27**, S85.
- [2] L. Morselli *et al.*, *The Science of the Total Environment*, 2002, **289**, 177.
- [3] L. Morselli *et al.*, *Waste Management*, 2005, **25**, 191.
- [4] US EPA, *Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities*, 2005.
- [5] DEFRA, *Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes*, 2004.
- [6] Rapporto Conclusivo della Commissione per le migliori tecnologie di gestione e smaltimento dei rifiuti - Ministero dell'Ambiente del Ministero per le Riforme e le Innovazioni nella P. A., 20/04/2007
- [7] NRC (National Research Council), *Risk assessment in the Federal Government: Managing the process*, National Academy Press, Washington, DC, 1983

Control and Evaluation Tools in Waste Management

In order to improve and monitor an Integrated Waste Management System (IWMS), control tools are necessary in order to qualify the adopted strategies and to provide useful information which may trigger a virtuous improving process. Among this tools Integrated Environmental Monitoring System, Life cycle Assessment and Risk Analysis are essential for the IWMS environmental impacts assessment and useful to underline the critical point of the management system.