



**A.P.A.T.**

**Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi Tecnici**

**"Impiego della metodologia LCA per la  
valutazione delle tecnologie di bonifica dei siti  
contaminati"**

**Dott. Ing. Alessia Olga Iscaro**

**Tutor  
Dott. Luciano Bonci**

**Co-tutor  
Ing. Laura D'Aprile**

# INDICE

1.	Introduzione: Lo studio dei siti contaminati.....	3
2.	La valutazione del ciclo di vita .....	5
2.1	<i>Fase 1</i> .....	8
2.2	<i>Fase 2</i> .....	9
2.3	<i>Fase 3</i> .....	12
2.3.1	Classificazione .....	13
2.3.4	Attribuzione dei pesi.....	15
2.4	<i>Fase 4: Interpretazione dei risultati</i> .....	17
2.5.	<i>Revisione critica</i> .....	17
3	L'analisi costi benefici .....	19
3.1.	<i>Descrizione delle fasi di un processo CBA:Fase 1</i> .....	21
3.2	<i>Fase 2</i> .....	22
3.3	<i>Fase 3</i> .....	23
3.3.1	Fattibilità .....	24
3.4	<i>Fase 4</i> .....	26
3.4.1	Scelta orizzonte temporale .....	27
3.4.2	Valutazione costi totali.....	27
3.4.3	Valutazione dei benefici .....	28
3.4.3.1	Identificazione e valutazione dei benefici prontamente quantificabili .....	29
3.4.4	Applicazione del tasso di inflazione .....	31
3.4.5	Applicazione del tasso di sconto.....	32
3.4.6	Applicazione della correzione fiscale .....	32
3.4.7	Valutazione dei costi effettivi .....	32
4.1	<i>Fase 5</i> .....	34
4.	Applicazione al caso studio .....	35
4.1	<i>Inquadramento del sito in esame</i> .....	36
4.3	<i>Modello Concettuale</i> .....	38
4.4	<i>Applicazione della metodologia LCA</i> .....	43
4.5	<i>Interventi di bonifica</i> .....	43
4.6	<i>Fase I</i> .....	46
4.7	<i>Fase II</i> .....	47
4.8	<i>Fase III</i> .....	53
4.9	<i>Gli indicatori a carattere globale</i> .....	55
4.10	<i>Classificazione</i> .....	57
4.11	<i>Caratterizzazione</i> .....	58
4.12	<i>Normalizzazione</i> .....	59
4.13	<i>Attribuzione dei pesi</i> .....	60
5	Analisi Costi Benefici .....	60
5.1	<i>Fattibilità'</i> .....	62
5.2	<i>ABC</i> .....	62
5.2.1	Scelta orizzonte temporale.....	63
5.2.2	Valutazione dei costi totali .....	63
5.2.3	Valutazione dei benefici .....	64
5.2.3.1	Identificazione e valutazione dei benefici prontamente quantificabili .....	64
5.2.4	Valutazione dei benefici non prontamente quantificabili.....	65
5.2.4.1	Patologie derivanti da contatto e ingestione di metalli pesanti .....	65
5.2.4.2	Scelta del tasso di sconto.....	71
5.2.4.3	Calcolo dell'indice di valutazione costi benefici.....	71
6.	Conclusioni .....	74
	Bibliografia .....	76

## 1. Introduzione: Lo studio dei siti contaminati

Il problema dei siti contaminati in questi anni ha assunto un'importanza sempre maggiore in tutta Europa e ha portato ad una grande sensibilizzazione ambientale sia da parte delle attività produttive potenzialmente impattanti sia da parte degli enti gestori del territorio. Numerose sono oggi le interpretazioni che vengono date all'espressione "sito contaminato" perché diversi sono i principi che vengono usati per stabilire le fonti di inquinamento e il loro impatto sull'ambiente, inoltre, diverse sono le priorità politiche di approccio al problema nei vari paesi. Se da un lato, infatti, è auspicabile una politica unitaria in materia di siti contaminati che possa favorire l'uniformità dei comportamenti e quindi un confronto tra i vari paesi, dall'altro è pur vero che ogni paese differisce per numerosi aspetti ambientali, ma anche politici, sociali e culturali e quindi ha bisogno inevitabilmente di una definizione e di un approccio personalizzato all'argomento.

In generale per sito contaminato si intende un luogo dove sono presenti sostanze "dannose" introdotte da attività antropiche ad un livello tale da mettere a rischio la salute pubblica e/o l'ambiente naturale. Il danno provocato da una certa sostanza all'uomo e più in generale all'ambiente è da attribuirsi, quindi, alla presenza di elementi tossici e nocivi e alla loro concentrazione. Molto spesso nell'ambito di questa definizione viene fatta una prima distinzione legata al concetto di *sito contaminato* e di sito a *potenziale contaminazione*. Nel primo caso si parla di contaminazione storica ossia di uno stato di inquinamento provocato da attività antropiche ormai non più presenti e per questo di difficile individuazione, nel secondo caso ci si riferisce a siti in cui la presenza attuale di attività antropiche genera un potenziale pericolo di inquinamento non ancora verificato. E' da notare, comunque, che in entrambi i casi è sottolineato il fatto che all'origine della contaminazione, sia essa passata o futura, è presente sempre la mano dell'uomo.

L'approccio analitico allo studio di queste due *condizioni ambientali* è ovviamente diverso in quanto per un sito contaminato essendo già presenti sostanze dannose nel sottosuolo è necessario indirizzare le attività verso la bonifica e il ripristino, mentre nell'analizzare un sito contaminabile è necessario propendere verso una politica preventiva e quindi verso un'efficace azione di controllo e monitoraggio. Le metodologie di analisi delle situazioni sopra citate, non sono disgiunte tra loro perché lo studio dei siti contaminati prevede un'analisi dei processi di interazione inquinante-sottosuolo utile e necessaria per l'impostazione delle strategie di

monitoraggio dei siti a potenziale contaminazione e l'individuazione di azioni preventive adeguate ad ogni situazione. L'approccio analitico, in entrambi i casi, deve mirare all'individuazione del Modello Concettuale (MC) del sito contaminato il quale deve essere impostato in base ai seguenti elementi:

- Individuazione delle sorgenti di contaminazione siano esse puntuali o diffuse
- Individuazione e caratterizzazione dei recettori sensibili umani ed ambientali
- Individuazione dei percorsi attraverso cui i ricettori possono entrare in contatto con le fonti

Questi elementi rappresentano le linee guida generali per la caratterizzazione delle complesse interazioni esistenti tra sostanze inquinanti e sottosuolo e per la loro variazione spazio-temporale; esse poi, analizzate e sviluppate in relazione al contesto ambientale, sociale e politico del sito in esame, ne forniranno una caratterizzazione personalizzata ossia il Modello Concettuale. Sebbene la definizione del Modello Concettuale per ogni sito contaminato è garanzia di una valutazione idonea e conformata al sito stesso, la bontà di un metodo di studio nasce dalla possibilità di confronto di quest'ultimo all'interno di diversi contesti o con altri metodi con i quali ci siano dei fattori comuni da poter relazionare. Nasce quindi la necessità di trovare un elemento comune per il confronto dei risultati effettuati attraverso le varie analisi e questo elemento, come proposto dalla Comunità Europea, è rappresentato dal **rischio**, inteso come combinazione di **probabilità** ed **effetti** della contaminazione stessa.

La probabilità è legata al grado di pericolosità rappresentato dall'attività antropica potenzialmente inquinante in quanto porta a circostanze che facilmente possono degradare l'ambiente, gli effetti sono legati, invece, alla vulnerabilità del sottosuolo, inteso come complesso delle interazioni acqua-terreno che possono favorire o inibire i fenomeni di inquinamento. Il rischio è rappresentato dall'insieme di questi due fattori ed è quindi il risultato finale dell'osservazione del percorso che l'agente inquinante compie dalla propria sorgente fino al sottosuolo.

La presenza di un'attività antropica, infatti, non necessariamente rappresenta un pericolo di contaminazione o perché da essa non scaturisce l'immissione nel sottosuolo di sostanze inquinanti, o perché le caratteristiche del complesso sottosuolo non lo rendono particolarmente suscettibile a quella data attività. Appare evidente, quindi, come soltanto uno studio approfondito della potenzialità di inquinamento delle attività antropiche e della vulnerabilità del sottosuolo all'inquinamento stesso, possa garantire l'individuazione del grado di rischio per le

varie componenti ambientali. La gestione dello studio dei siti contaminati basata sull'individuazione del grado di rischio, ha in questo modo una valenza globale poiché rappresenta la base per un confronto tra vari paesi e l'individuazione di strategie univoche di bonifica e prevenzione dei siti contaminati.

L'utilizzo della metodologia di valutazione del grado di rischio ha inoltre, come obiettivo quello di realizzare l'integrazione dei metodi che provengono da discipline differenti come la pianificazione territoriale, l'ingegneria e l'economia in base ad una serie di obiettivi comuni primo fra tutti la protezione ambientale intesa non solo come salvaguardia degli ecosistemi, ma anche come sviluppo di soluzioni tecniche ed amministrative adeguate e raggiungimento della sostenibilità in ambito economico, politico e sociale.

L'approccio decisionale derivante dall'individuazione del grado di rischio deve quindi essere basato su tre elementi essenziali:

- idoneità di utilizzo del sito
- protezione delle componenti ambientali
- valutazione a lungo termine degli effetti.

I primi due sono relativi principalmente all'uso futuro del sito in esame, il secondo sottolinea, invece la sostenibilità della soluzione scelta. Per idoneità del suolo si intende il ripristino di quest'ultimo attraverso l'annullamento del grado di rischio o l'abbassamento a livelli accettabili tali da renderne possibile il riutilizzo, la protezione ambientale è da intendersi come riduzione o annullamento dei rischi ai fini della salvaguardia ambientale e della salute umana e come potenziamento della qualità e della quantità delle risorse (terra, acqua, eredità culturale etc.) ed infine la valutazione degli effetti a lungo termine prevede uno studio di tutti gli scenari risolutivi del problema con l'obiettivo di individuare quello più adeguato per un riqualificazione duratura nel tempo.

L'approccio decisionale per il monitoraggio e il ripristino di siti contaminati, deve inoltre rispettare il principio cosiddetto BAT (Best Available Technology) che mira alla scelta delle tecnologie più "appropriate" per la risoluzione dei problemi finalizzata al bilancio del rapporto costi-benefici.

## **2. La valutazione del ciclo di vita**

Tra gli strumenti nati per l'analisi di sistemi industriali, il Life Cycle Assessment ha assunto un ruolo preminente ed è in forte espansione a livello nazionale ed

internazionale tanto da rappresentare oggi uno degli strumenti più importanti per la valutazione degli impatti potenziali sull'ambiente associati ad una particolare attività.

L'importanza di tale strumento, che lo distingue dai tradizionali metodi di analisi di impatto ambientale, risiede nel fatto che esso analizza la "storia" di un prodotto in ogni fase della sua vita, *dalla culla alla tomba*, ossia dall'estrazione dall'ecosfera al ritorno all'ambiente sottoforma di rifiuti o rilasci. Nella metodologia LCA vengono analizzati tutti gli stadi della vita di un prodotto poiché in ogni azione è associata una fase di processo che può avere riflessi sulle fasi precedenti o successive. In questo modo non è stimato solo il danno ambientale di un prodotto finito, ma viene valutato il potenziale d'impatto di un intero processo industriale con la possibilità di individuare le fasi e i momenti specifici in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore, ecc) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi di miglioramento. Spesso infatti con i metodi tradizionali viene valutato il potenziale danno ambientale di un prodotto solo nella fase finale di un processo per diminuire il quale si rischia di aumentarne l'impatto trasferendolo in altre fasi; tenendo conto dell'intero ciclo di vita del prodotto si evita che, nel migliorare alcuni processi industriali, per esempio nella fase di produzione, non si generino altri problemi ambientali in altre fasi, come lo smaltimento finale.

L'LCA analizza quindi l'intero *ciclo di vita* di un prodotto, dall'estrazione alla lavorazione, al successivo utilizzo e allo smaltimento valutandone i carichi energetici e ambientali così come mostrato in figura.

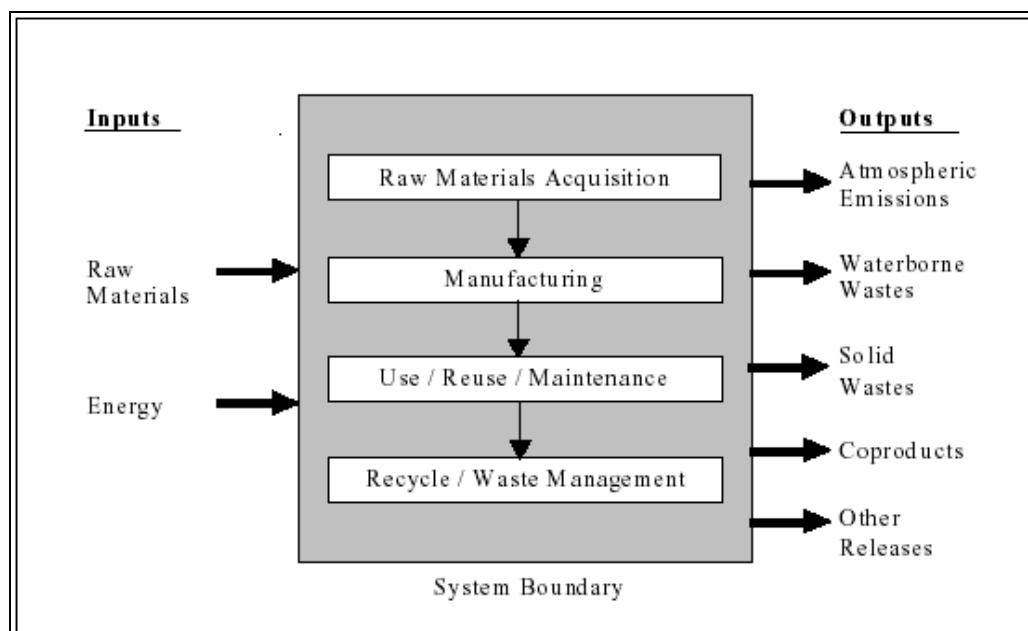


Fig. 2.1.: Definizione dei confini del sistema e dei flussi di materia

A livello europeo l'importanza dell'LCA come metodologia di valutazione di impatto ambientale è espressa chiaramente all'interno del Libro Verde COM 2001/68/CE e della COM 2003/302/CE sulla Politica Integrata dei prodotti nonché all'interno dei Regolamenti Europei EMAS (761/2001/CE) ed Ecolabel 1980/2000/CE.

A livello internazionale la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 in base alle quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede 4 fasi fondamentali:

- **Fase 1: Definizione degli obiettivi dello studio e confini del sistema:** definire e descrivere il prodotto e il processo ad esso associato, stabilire il contesto in cui deve essere fatta la valutazione, valutare le principali linee di impatto sull'ambiente;
- **Fase 2: Analisi di inventario (o eco-inventario LCI):** Identificare e misurare l'utilizzo di energia, di acqua e di materiali e i rilasci ambientali (per esempio, emissioni in atmosfera, eliminazione dei rifiuti solidi, scarico di acque di rifiuto);
- **Fase 3: Valutazione dell'impatto:** valutare i potenziali effetti sull'ambiente e sull'uomo provocati dall'uso di energia, acqua e altre materie prime nonché l'impatto dei rilasci ambientali valutati durante la fase precedente;
- **Fase 4: Interpretazione dei risultati:** interpretare i risultati ottenuti scegliendo gli opportuni rimedi alla riduzione dell'impatto valutando il grado di incertezza dell'analisi effettuata e i presupposti di partenza.

Lo sviluppo di una metodologia LCA insieme con altri processi analitici, come ad esempio valutazioni economiche, rappresenta un importante strumento decisionale per i cosiddetti decision-makers perché analizza l'impatto di un processo in tutti i suoi aspetti e in tutte le sue fasi, valutando così il danno a tutte le componenti ambientali (acqua, aria e suolo). Un esempio può essere chiarificatore. Può capitare che un'attività venga considerata poco impattante perché a prodotto finito risulta una bassa quantità di rifiuti solidi; dopo un'analisi LCA, tuttavia la valutazione può risultare invertita e l'attività può essere classificata come estremamente dannosa perché la quantificazione dell'impatto è stata valutata attraverso l'analisi della pericolosità dei processi produttivi sulle principali componenti ambientali ad esempio come emissioni di sostanze dannose durante la fase di lavorazione del prodotto. Attraverso un Life Cycle Assessment gli operatori possono:

- Identificare gli impatti sui vari comparti ambientali e la maniera con cui ciascuna fase del processo contribuisce ad essi;

- Valutare l'impatto sulla salute umana e sugli ecosistemi sia a scala locale, che regionale, che globale;
- Confrontare i potenziali danni ambientali provocati da diversi processi produttivi e scegliere il meno impattante;
- Sviluppare e migliorare i prodotti e/o processi o definirne di nuovi ad impatto ambientale ridotto.

L'LCA può risultare una metodologia di valutazione molto onerosa e può richiedere lunghi periodi di tempo per essere attuata. La disponibilità dei dati risulta spesso limitata o richiede tempi estremamente lunghi e questo a scapito della bontà dei risultati finali. Prima di procedere all'avvio della procedura è necessario, quindi, valutare la disponibilità dei dati, il tempo necessario per intraprendere gli studi ed i mezzi finanziari richiesti pena la buona riuscita del processo di valutazione. L'LCA inoltre non determina quale prodotto o processo sia più redditizio o funzioni meglio, di conseguenza esso dovrebbe essere utilizzato come strumento decisionale insieme ad altre valutazioni ad esempio economiche, prestazionali del prodotto etc.

## **2.1 Fase 1**

La fase iniziale di un processo di valutazione dell'LCA è la più importante perché in essa vengono definiti gli obiettivi in base ai quali verrà stabilito l'iter dell'intero processo, le risorse necessarie e disponibili, la tempistica di svolgimento e il budget economico necessario. Ogni decisione presa durante questa fase si ripercuoterà sullo sviluppo della metodologia e sull'attinenza dei risultati finali. L'obiettivo base che deve guidare lo sviluppo dell'LCA è finalizzato alla riduzione dei danni provocati all'ambiente e all'uomo, poi, a seconda del contesto nel quale viene applicata questa metodologia essa avrà obiettivi secondari; ad esempio può essere finalizzata allo studio della fase più impattante di un processo a fini migliorativi, oppure può essere utilizzata per trovare un nuovo processo etc.

Le linee guida che è necessario seguire nella prima fase di valutazione del ciclo di vita di un prodotto sono:

1. Definire gli obiettivi del progetto,
2. Determinare che tipo di informazioni è necessario avere per informare i decision-makers,
3. Determinare la specificità richiesta,



4. Determinare come i dati dovrebbero essere organizzati ed i risultati dovrebbero essere visualizzati,
5. Definire la finalità dello studio,
6. Determinare i principi di base per realizzare il lavoro, di un *modello analogico* della realtà.

## **2.2 Fase 2**

Questa fase comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita dal sistema, essa rappresenta, quindi la parte tecnica di un processo di valutazione LCA in quanto da essa scaturisce il *modello analogico* in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra il sistema e l'ambiente. Il risultato dell'inventario è una lista contenente, in sintesi, la quantità e la tipologia di inquinanti rilasciati nei vari comparti ambientali e l'ammontare di energia e materiali consumati. I risultati possono essere forniti separatamente per ogni fase del ciclo di vita di un prodotto o come totale dei flussi in ingresso e in uscita per l'intero processo. L'inventario in genere è composto da quattro fasi principali:

- Costruzione dei diagrammi di flusso dei processi da valutare,
- Sviluppo di un programma di raccolta dati,
- Raccolta dati,
- Valutazione dei risultati.

Nel diagramma di flusso sono rappresentate le componenti di un sistema attraverso una sequenza di processi (boxes) collegati da flussi di materiali (freccie). Gli obiettivi prefissati nella fase iniziale stabiliscono i contorni del diagramma il quale, nel complesso, rappresenta l'intero ciclo di vita del prodotto inteso come inputs e outputs di materiali ed energia. Più è complesso il diagramma di flusso, più dettagliata sarà la valutazione del ciclo di vita e di conseguenza maggiori saranno i dati necessari per lo svolgimento delle analisi. Il primo passo da compiere è la valutazione del processo produttivo nel suo complesso compresa la fase a monte e a valle dello stesso ossia dall'estrazione della materia prima alla produzione di rifiuti; l'obiettivo è quello di evidenziare le fasi rilevanti e i flussi di materiali ed energia per ciascuna di esse, nonché le emissioni nell'ambiente. In questo primo step devono essere anche valutati e quantificati i co-prodotti ossia quelle uscite diverse dal prodotto base, ma che hanno anch'esse un valore in quanto non vengono trattate come scarti, ma riutilizzati nel processo e rimessi sul mercato.

E' fondamentale in questa fase dell'analisi, inoltre, stabilire l'unità di misura da utilizzare ossia l'Unità Funzionale e valutarne la rappresentatività delle grandezze in gioco, inoltre è necessario impostare la metodologia che si intende utilizzare per la raccolta dati nonché tutte le informazioni utili e necessarie per stabilire la rappresentatività dei dati stessi quali:

- fonte dei dati (primaria=misurata; secondaria =da letteratura; terziaria =da stime),
- processo di riferimento (lo stesso o uno simile),
- tecnologie di riferimento,
- area geografica,
- base di campionamento,
- metodo di misura,
- metodo di calcolo dei valori medi,
- varianza ed irregolarità nelle misurazioni.

Prima di passare alla fase di raccolta dati è necessario pianificare l'iter da seguire durante la raccolta stessa in maniera tale da valutare a priori la qualità dei dati e il grado di affidabilità. Gli elementi chiave della pianificazione sono:

- la definizione degli obiettivi di qualità ossia l'identificazione del grado di precisione relativo ad ogni fase del processo con il quale raccogliere i dati in maniera tale da avere una struttura base per la quantificazione del tempo e delle risorse disponibili e di quelle da cercare
- definizione degli indicatori di qualità dei dati come, precisione, completezza, riproducibilità necessari per valutare se gli obiettivi di qualità prefissati nello step precedente sono stati raggiunti
- definizione delle fonti di dati e del tipo di dati di cui nella tabella sottostante si portano alcuni esempi, necessaria per evitare sprechi di tempo e di denaro e definire le modalità di presentazione dei dati stessi ad esempio attraverso dati medi, curve caratteristiche etc.
- preparazione di un foglio elettronico di riferimento per la raccolta dati finalizzato all'organizzazione dei dati in relazione alle fasi del processo produttivo e allo svolgimento immediato di operazioni utili quali aggregazione di dati e cambi di unità di misura. Il foglio elettronico è altresì necessario per l'individuazione dei *rapporti di proporzionalità* ossia dei contributi dei flussi di materia ed energia, sia in ingresso che in uscita, nelle varie fasi del processo

Examples of data sources include the following:

- Meter readings from equipment
- Equipment operating logs/journals
- Industry data reports, databases, or consultants
- Laboratory test results
- Government documents, reports, databases, and clearinghouses
- Other publicly available databases or clearinghouses
- Journals, papers, books, and patents
- Reference books
- Trade associations
- Related/previous life cycle inventory studies
- Equipment and process specifications
- Best engineering judgment.

Fig 2.2.1: Esempi di fonti di dati: EPA/600/R-06/060 May 2006 : **LIFE CYCLE ASSESSMENT:PRINCIPLES AND PRACTICE**

Dopo aver individuato l'iter da seguire per il reperimento dei dati si passa alla fase di raccolta degli stessi. Questi vengono divisi in due gruppi principali, i dati di input relativi ai materiali, ai trasporti e all'energia e i dati di output riferiti ai prodotti rilasciati aria, acqua e suolo, l'obiettivo finale è quello di stilare un vero e proprio bilancio ambientale attraverso un confronto delle due direzioni di flusso principale. La fase di raccolta dati presuppone, tradizionalmente, ricerche bibliografiche, sopralluoghi, contatti con esperti di settore; tutte attività che oggi sono state sostituite per la maggior parte da software di facile utilizzo adattabili a qualsiasi situazione. Questi software mettono a disposizione una serie di processi già implementati e tarati su un certo numero di situazioni organizzati attraverso una serie di database relativi alle varie categorie quali materiali, combustibili e sistemi di trasporti, a cui si aggiungono anche i sistemi di smaltimento dei rifiuti.

Una delle difficoltà principali da superare nella fase di raccolta dati è il problema dell'allocazione dove per allocazione si intende la *ripartizione nel sistema dei flussi in entrata e in uscita in base all'Unità Funzionale*". La maggior parte dei processi industriali ha più di un prodotto e, come detto precedentemente, riutilizza i prodotti intermedi o di scarto come fossero materie prime. Quando le informazioni sulle emissioni sono disponibili solo in forma aggregata, sorge il problema di come "collegare" i flussi rispetto all' Unità Funzionale. Innanzi tutto è consigliabile non dividere il sistema in altri sottoinsiemi o inglobare altri prodotti perché si rischia di complicare o intaccare il diagramma di flusso inizialmente stabilito; in secondo luogo è auspicabile impostare la metodologia sui parametri che regolano il processo quali massa, moli, energia etc, ed infine è consigliabile non utilizzare mai parametri economici perché hanno una variabilità temporale e geografica troppo vasta.

### 2.3 **Fase 3**

Questa fase è quella chiamata Life Cycle Impact Assessment regolata dalle Norme ISO 14042 ed è finalizzata alla quantificazione degli impatti ambientali dei rilasci di sostanze inquinanti sull'ambiente causate dai flussi in uscita al sistema. In questa fase è necessario innanzitutto scegliere gli indicatori di impatto ossia quei fattori utilizzati per valutare i danni provocati all'ambiente; di seguito ne riportiamo alcuni esempi:

- effetto serra;
- ampliamento buco dell'ozono;
- consumo risorse non rinnovabili;
- erosione del suolo;
- danni al paesaggio;
- acidificazione;
- smog fotochimico;
- biodiversità;
- impoverimento risorse idriche;
- eutrofizzazione;
- danni alla salute umana;
- degradazione dell'area.

Le categorie d'impatto sopra citate differiscono tra loro per l'area geografica rispetto alla quale il processo o il prodotto in esame manifesta il proprio impatto; in particolare l'impatto si dice a *scala globale* se interessa tutto il pianeta, a *scala regionale* se interessa un'area estesa qualche migliaio di chilometri intorno al punto di impatto ed infine, a *scala locale* se circoscritto all'area di ubicazione dell'attività di produzione del prodotto in esame. In generale l'impatto legato ai primi tre indicatori elencati sopra, si manifesta a scala globale, tutti gli altri hanno generalmente una valenza regionale tranne la degradazione dell'area e il danno alla salute umana che vengono considerati a scala locale. Si fa notare, comunque che molti degli indicatori su elencati si compenetrano gli uni con gli altri, ad esempio un assottigliamento della fascia di ozono, provoca un danno all'intero pianeta che però si trasferisce poi come danno alla popolazione e quindi all'uomo.

La fase di valutazione degli impatti è suddivisa in quattro fasi principali:

- classificazione
- caratterizzazione

- normalizzazione
- attribuzione dei pesi

### 2.3.1 Classificazione

In questa fase del processo di valutazione dell'impatto vengono stabiliti i legami tra gli indicatori elencati nel precedente paragrafo e i flussi in uscita quantificati nella fase di inventario. Una determinata sostanza, infatti può contribuire a danneggiare l'ambiente intervenendo negativamente su una o più delle categorie ambientali elencate sopra ed è necessario quindi individuare non solo l'indicatore sul quale influisce, ma anche il modo di influire su esso. I fenomeni che manifestano i danni arrecati all'ambiente devono essere quantificati in maniera tale da stabilire un legame quantitativo tra sostanza impattante ed impatto stesso. Tra gli indicatori più utilizzati ricordiamo:

- l'effetto serra a 10 anni ( $GWP_{100}$ ),
- acidificazione potenziale (AP),
- formazione di smog fotochimico (POCP),
- buco dell'ozono (OD),
- eutrofizzazione potenziale (EP).

### 2.3.2 Caratterizzazione

La fase di caratterizzazione è successiva a quella di classificazione ed ha lo scopo di quantificare l'incidenza dei rilasci ambientali. Ogni sostanza in uscita dal processo, infatti, influisce in maniera differente sui vari comparti ambientali e risulta necessario quindi individuare il contributo di ciascun flusso in uscita alle varie categorie di impatto; il contributo di ogni rilascio, inoltre, deve essere sommabile per ogni indicatore e deve altresì poter essere confrontato con gli altri contributi, sia in relazione alla medesima sostanza sia in relazione ad un particolare indicatore. Per poter omogeneizzare i dati, quindi, le quantità di ciascun input ed output vengono moltiplicate per un "fattore equivalente (EQ)" che misura l'intensità dell'effetto di una sostanza sul problema ambientale considerato. Gli EQ non rappresentano altro che i pesi di incidenza di ogni sostanza e vengono scelti in genere da letteratura. L'equazione che lega la caratterizzazione è la seguente:

$$\text{Dato di inventario} \times \text{Fattore equivalente} = \text{Indicatore d'impatto}$$

**Caso studio:** Sistema che emette due tipologie di gas:

CO<sub>2</sub> = 30 kg  
CH<sub>4</sub> = 1 kg

Entrambi i gas interferiscono sul fenomeno dell'effetto serra, di conseguenza come fattore equivalente è stato scelto il contributo equivalente all'indicatore "effetto serra a 10 anni" (GWP<sub>100</sub>) che è rispettivamente uguale a :

CO<sub>2</sub> = 1 (CO<sub>2</sub> eq)  
CH<sub>4</sub> = 25 (CO<sub>2</sub> eq)

Dall'equazione sopra riportata risulta che :

$$30 \times 1 + 1 \times 25 = 75 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

**Dato di inventario**      **Fattore equivalente**      **Fattore equivalente**      **Indicatore d'impatto**

Tabella 2.3.2.1: Esempio di valutazione dell'indicatore Effetto serra a 10 anni

### 2.3.3. Normalizzazione

Durante la fase di normalizzazione ogni indicatore d'impatto ottenuto precedentemente viene modificato per un valore di riferimento in genere stabilito su scala mondiale o regionale e per un certo intervallo di tempo in modo da rendere confrontabili i valori ottenuti. Un esempio di fattore di normalizzazione è il carico medio annuale, in una nazione o in un continente, diviso per il numero degli abitanti. Attraverso la normalizzazione si può ottenere un'idea più chiara di quale sia l'entità di ciascun impatto sull'ambiente proprio perché relazionato ad altre situazioni su una scala geografica e temporale più ampia, si fa notare tuttavia che i valori di riferimento sono differenziati per ogni categoria di impatto e quindi rendono confrontabili solo le medesime categorie, non categorie tra loro differenti. Il primo manuale relativo all'attuazione della fase di normalizzazione fu pubblicato dal CMS (*Centre for Environmental Studies*) dell'Università di Leiden, in Olanda e redatto estrapolando i dati dal registro olandese per le emissioni; successivamente furono pubblicati altri manuali sempre in Olanda e oggi sono frequentemente utilizzati in tutta Europa.

#### 2.3.4 Attribuzione dei pesi

L'obiettivo finale dello studio di un Life Cycle Assessment è la valutazione dell'Impatto ambientale dell'intero sistema preso in considerazione in riferimento a tutte le categorie di impatto. La fase di attribuzione dei pesi mira a fornire un fattore numerico unico, detto **ecoindicatore** attraverso cui esprimere l'entità del danno ambientale. I valori normalizzati vengono moltiplicati per un "fattore di peso" che rappresenta la gravità dell'impatto sull'ambiente valutato come differenza tra lo stato ambientale danneggiato dall'attività impattante e quello ottimale che si vuole raggiungere. Questa fase è una delle più importanti nel processo di valutazione dell'LCA perché è riflessione diretta del caso di studio in quanto i pesi vengono attribuiti in base allo stato ambientale della situazione in esame; ad esempio il peso attribuito alle emissioni in atmosfera in una zona in cui la qualità dell'aria è già al di sotto degli standard, sarà differente rispetto a quello attribuito ad una zona dove invece la qualità dell'aria è migliore. Questa particolarità non dà valenza scientifica alla fase di attribuzione pesi in quanto legata ad un grado di soggettività che non è eliminabile, esistono, infatti, molti studi effettuati a riguardo sia in Europa che in America, ma a nessuno di questi è associata un valore scientifico valido a livello mondiale.

**Exhibit 4-1. Commonly Used Life Cycle Impact Categories**

Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> ) Methane (CH <sub>4</sub> ) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH <sub>3</sub> Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) equivalents Note: global warming potentials can be 50, 100, or 500 year potentials.
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH <sub>3</sub> Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO <sub>x</sub> ) Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> ) Hydrochloric Acid (HCL) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH <sub>4</sub> )	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H <sup>+</sup> ) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO <sub>4</sub> ) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> ) Nitrates Ammonia (NH <sub>4</sub> )	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO <sub>4</sub> ) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC <sub>50</sub>	Converts LC <sub>50</sub> data to equivalents; uses multimedia modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

**Fig 2.3.4.1: Categorie usate per l'avalutazione degli impatti. EPA/600/R-06/060 May 2006 : LIFE CYCLE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND PRACTICE**



## **2.4 Fase 4: Interpretazione dei risultati**

Questa è l'ultimo step dello studio del ciclo di vita, durante questa fase vengono analizzati i risultati ottenuti confrontandoli con gli obiettivi di studio al fine di individuare i sistemi più idonei per ridurre l'impatto ambientale, proporre i rimedi da attuare e individuare le limitazioni della valutazione. L'interpretazione dei risultati, pur essendo la fase conclusiva, è sicuramente la più difficile perché spesso la soluzione adottabile non è una sola ed inoltre i range di incertezza associati ad alcuni dati non permettono di valutare senza limitazioni la bontà di una soluzione adottabile, inoltre il LCA non tiene in considerazione altri elementi come fattori politici, sociali ed economici che sono altrettanto importanti in fase decisionale.

L'interpretazione dei risultati è suddivisa in tre parti:

- identificazione dei dati maggiormente rilevanti,
- valutazione della sensitività, completezza e consistenza dei dati,
- Conclusioni, rimedi e resoconto dello studio effettuato.

Il primo punto mira all'individuazione di quale fase dell' LCI e dell' LCIA ha un peso maggiore per ciascuno dei possibili risultati, questo implica anche una riesaminazione delle informazioni raccolte e dei risultati ottenuti utile per verificare il raggiungimento degli obiettivi preposti all'inizio della fase di studio. Una volta identificati i dati che hanno avuto un peso maggiore per l'analisi finale dell'impatto, si passa ad una valutazione complessiva della bontà dei risultati ottenuti. Sarà necessario, controllare la completezza delle informazioni e quindi individuare eventuali lacune o incertezze maturate nella fase di raccolta; controllare la sensibilità dei dati ossia valutare se le incertezze individuate durante la fase di controllo dei dati possano portare a soluzioni che non sono tra loro paragonabili; infine controllare la consistenza dei dati ossia controllare se le ipotesi di base, i metodi e i dati ottenuti sono conformi agli obiettivi e alle previsioni assunti all'inizio dello studio. Dopo un'analisi critica così svolta si hanno tutti gli elementi per poter scegliere individuare la componente o le componenti critiche dell'attività e/o del prodotto che si sta studiando e le aree geografiche che necessitano di interventi immediati e, ovviamente, gli interventi da attuare più consoni al caso studio.

## **2.5. Revisione critica**

Come si può notare dai paragrafi precedenti, in tutte le fasi di redazione dell'LCA è presente un'analisi di verifica e controllo delle operazioni man mano eseguite,

tuttavia solo alla fine di un percorso lavorativo, quando si ottengono i risultati e, in base ad essi, si devono prendere decisioni, emerge l'incidenza delle criticità, delle lacune conoscitive e delle incertezze individuate precedentemente. L'analisi critica svolta durante tutta la fase di redazione dell'LCA, ha quindi lo scopo di valutare la correttezza delle operazioni svolte e di incrementare la qualità dei risultati ottenuti in relazione al caso studio analizzato. Anche se attraverso le Norme ISO per la metodologia LCA sono stati introdotti criteri standardizzati per la compilazione di ciascuna fase, i risultati ottenuti sono strettamente legati ai contorni del caso in esame, alle ipotesi fatte, e ai modelli utilizzati per cui ogni studio d'impatto attuato attraverso questa metodologia necessita di una revisione critica. Questa si compone di tre fasi principali ognuna delle quali presuppone un'analisi critica delle osservazioni scaturite dalla precedente:

- revisione iniziale

in questa fase sarà necessario chiarire l'oggetto dell'analisi e verificare i contorni del sistema e quindi i dati inclusi ed esclusi dallo stesso, inoltre sarà altresì necessario stabilire come i risultati ottenuti verranno usati e resi pubblici

- revisione intermedia

in questa fase, che ha inizio dopo la raccolta dei dati e la normalizzazione di questi ultimi all'unità funzionale, sarà necessario verificare la procedura di raccolta dati ed eventuali metodologie di integrazione successiva degli stessi, nonché verificare la metodologia di valutazione della qualità dei dati stessi,

- revisione finale

in questa ultima fase di controllo verrà analizzata la qualità dell'intero lavoro e come essa cambia in base ad una variazione della qualità dei dati ed inoltre si verificherà che i risultati ottenuti siano confacenti agli obiettivi preposti.

Nella tabella seguente vengono elencate per ogni fase alcune domande utili che chiariscono le finalità delle revisioni stesse.

Revisione iniziale:	Revisione intermedia:	Revisione finale:
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le fonti di dati scelte sono accettabili?</li> <li>– Esistono altre fonti che non sono state valutate?</li> <li>– I contorni del sistema sono adatti ad una completa descrizione dello stesso?</li> <li>– Sono stati individuati gli obiettivi da raggiungere e questi sono chiari ed univoci?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– I dati utilizzati sono sufficienti a descrivere il sistema?</li> <li>– Il livello di aggregazione dei dati è ragionevole?</li> <li>– I dati sono chiari?</li> <li>– Il sistema di valutazione della qualità dei dati è valido?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La metodologia per la redazione dell’inventario è chiara?</li> <li>– La metodologia per la redazione dell’inventario è riproducibile?</li> <li>– Le conclusioni ottenute dalla redazione dell’inventario sono proporzionate ai dati raccolti?</li> </ul>

Tabella 2.5.1:Esempi di domande utili finalizzate alla valutazione dei punti di forza e delle criticità dell’analisi svolta

### 3 L’analisi costi benefici

L’analisi costi benefici è stata una metodologia di supporto decisionale nello studio dei siti contaminati fin dagli inizi del diciannovesimo secolo. Essa nasce in virtù di una necessità comune di quantificare i benefici o le perdite nette legate ad un determinato progetto e quindi valutare se il progetto medesimo possa provocare un beneficio netto alla società e/o impresa che lo attua. La CBA (Costs Benefits Analysis) è quindi a tutti gli effetti un processo di valutazione economica che non solo focalizza gli obiettivi sulla stima dei benefici dell’impresa e di chi ci lavora, ma focalizza l’attenzione anche sugli effetti esterni all’impresa stessa provocati da un determinato progetto e quindi da una determinata decisione. Quest’ultimo aspetto è stato da molti trascurato in passato a causa della difficoltà di monetizzare alcuni fattori come ad esempio quelli rappresentativi dell’impatto ambientale, attuando, più che un’analisi economica, un’analisi finanziaria ossia valutando solo le entrate e le uscite in termini prettamente monetari. In realtà l’analisi dell’influenza che il progetto ha all’esterno, e quindi anche sull’ambiente, è uno degli aspetti più importanti perché non di rado un determinato progetto modifica l’ambiente

circostante generando o distruggendo una serie di elementi ambientali di valore, anche se non monetario, spesso non trascurabile. La quantificazione di un "valore" ad esempio di carattere ambientale, e la possibilità di confronto di questo con altri aspetti inerenti un determinato problema, aiuta coloro che fanno parte dell'organo decisionale, a valutare più prontamente la bontà di una soluzione progettuale proposta. Può accadere, infatti, che dopo un'attenta valutazione economica la soluzione che sembrava la migliore risulti essere in realtà poco vantaggiosa. Il valore monetario di un sito contaminato prima dell'introduzione di una determinata tecnica di rimedio, per esempio, non sempre risulta inferiore a quello post-rimedio perché numerosi sono i fattori che entrano in gioco nella valutazione e che si tende spesso a trascurare in quanto non monetizzabili e questo può portare ad una scelta risolutiva del problema che non tende a valorizzare il sito favorendo un bilancio costi benefici negativo. In questa sede si parlerà dell'analisi costi benefici legata ad un processo di LCA pertanto verranno analizzati non solo gli aspetti puramente economici del processo stesso, ma soprattutto gli aspetti economici dell'impatto del processo sull'ambiente.

In generale la fase di valutazione dell'analisi costi benefici, attuata per un progetto di notevole impatto ambientale consiste in 5 fasi, elencate di seguito, tutte basate su uno principio comune ossia:

*"un progetto è economicamente vantaggioso se i benefici sono superiori ai costi".*

#### Fase 1: Definizione del progetto

In questa fase è necessario attuare una caratterizzazione completa del sito in esame e del problema di contaminazione presente; sarà importante inoltre, identificare tutte le risorse utilizzate nel progetto (materie prime, elettricità, combustibili etc.) includendo altresì il capitale monetario investito; infine sarà opportuno identificare la popolazione coinvolta direttamente nel caso, come ad esempio lavoratori ed operai, nonché la popolazione coinvolta indirettamente come ad esempio gli abitanti di aree limitrofe.

#### Fase 2: Identificare gli impatti legati al progetto

Questa fase è relativa all'individuazione degli impatti del progetto sull'ambiente circostante e la valutazione del grado di rischio ad essi associato. In questa parte dell'analisi verrà altresì individuato il caso base che rappresenta il primo scenario

risolutivo auspicato con il quale verranno confrontate e successive proposte progettuali.

### Fase 3: Identificazione delle soluzioni di rimedio.

In questa fase verranno individuate e sviluppate le possibili soluzioni di rimedio e verrà valutata la fattibilità di ognuna di esse in relazione ai vincoli logistici inerenti il caso studio.

### Fase 4: CBA

Il quarto step costituisce il fulcro dell'analisi ossia la valutazione economica vera e propria che rappresenta l'ultimo tassello decisionale per la determinazione della soluzione di rimedio più vantaggiosa. Di questo se ne discuterà ampiamente nei successivi paragrafi.

### Fase 5: Analisi di sensibilità e di rischio

Questa fase, che completa il processo di valutazione costi-benefici, mira all'individuazione degli elementi forti dell'analisi e delle criticità, valutando la probabilità di riuscita della decisione finale grazie all'immediato confronto tra tutte le soluzioni auspiccate.

## **3.1. Descrizione delle fasi di un processo CBA:Fase 1**

La prima fase della redazione di un processo di CBA applicato ad un sito contaminato consiste in un'analisi dettagliata dell'area in esame e degli obiettivi progettuali prefissati. L'analisi dovrà includere una descrizione generale dell'area ed un inquadramento geografico, geologico, idrologico e idrogeologico. La valutazione di un'analisi CBA presuppone la conoscenza dei percorsi cosiddetti SPR (source-pathway-receptor) ossia del percorso dell'agente inquinante dalla fonte al ricevitore. Nel capitolo precedente, infatti, la definizione del Modello Concettuale, è stata impostata sull'individuazione delle varie componenti di un SPR ossia:

- Sorgente di diffusione dell'agente inquinante,
- Percorso che l'agente inquinante compie dalla sorgente al ricevitore,
- Individuazione del ricevitore.

In questo modo è possibile analizzare tutti gli scenari di rimedio in base alla scelta del campo di azione sul quale si ritiene opportuno intervenire per mitigare (o eliminare) il problema della contaminazione; ad esempio, si può optare per l'eliminazione del problema alla fonte o per la protezione del recettore da una futura contaminazione o, ancora, si può scegliere di agire intervenendo sulle modalità di raggiungimento dell'inquinante dalla sorgente al recettore. Sarà necessario, quindi, inquadrare accuratamente il sito in esame, il tipo di contaminazione e lo stato di fatto, gli agenti inquinanti, la loro provenienza e tutti gli elementi recettivi, sia appartenenti all'area in esame sia esterni ad essa, ma comunque interessati dal fenomeno di inquinamento.

### 3.2 Fase 2

La conoscenza di questi elementi e dei percorsi SPR permetterà di passare alla seconda fase del processo di valutazione che consiste nella quantificazione del grado di rischio associato a ciascun ricevitore e nell'identificazione degli impatti sui medesimi ricevitori. In questa fase, la valutazione del rischio è utilizzata per fornire le informazioni specifiche sui ricevitori identificati, sul grado di contaminazione attuale e futuro e sull'importanza dell'intervento in relazione al medesimo grado di contaminazione e ai recettori coinvolti. La valutazione del rischio, quindi, funge da guida nella selezione degli metodi correttivi al problema in esame individuando così le situazioni più pericolose, per le quali è necessario intervenire immediatamente.

Le informazioni raccolte dovranno essere raggruppate in tre grandi categorie che sono:

- **Informazioni sul rischio** degli effetti attuali e futuri della contaminazione dei suoli sia in relazione al sito in esame sia alle aree limitrofe che risentono della contaminazione stessa;
- **Incertezze** associate alla probabilità di manifestazione di ogni impatto e alla loro grandezza;
- **Numero di manifestazioni** di ciascun effetto e/o la popolazione o l'area interessata da un particolare effetto.

In questa fase del processo di analisi sarà altresì necessario definire il *caso base* che descrive, come accennato sopra, il primo caso risolutivo auspicato. Molto spesso il caso base non è altro che una rappresentazione della condizione di contaminazione attuale del sito la quale identifica la condizione di rimedio cosiddetta "no-action" ossia quella soluzione che non prevede nessun intervento di risanamento. In generale, comunque, la valutazione del caso base, presuppone la

costruzione di un modello descrittivo dei percorsi possibili degli inquinanti dalle sorgenti ai ricevitori in maniera tale da permettere l'immediata individuazione delle soluzioni di intervento; il modello dovrà, inoltre, essere facilmente gestibile e modificabile al fine di rappresentare in maniera rapida tutte le possibili condizioni di rimedio, confrontarle tra loro ed individuare quelle più adatte alla risoluzione del caso studio. Un esempio schematico di possibili interventi è rappresentato nella tabella seguente.

<b>REMEDIAL OBJECTIVE OPTIONS</b>	
A	Protect potential receptor
B	Reduce impact to current receptor
C	Eliminate impact to current receptor
D	Remove all contamination
E	Remove some of the contamination (to set level)
F	No action

Tabella 3.2.1.: Possibili opzioni di rimedio. Cost and Benefits Associated with the Remediation of Contaminated Grounwater: Application and exemple: R&D Technical Report P2-078/TR

In molti casi la valutazione del rischio identifica delle situazioni di estremo pericolo per le quali la scelta del rimedio è semplice ed immediata in quanto rappresenta l'unica soluzione possibile ossia quella di rimozione totale dell'agente inquinante. In molti altri casi, tuttavia, sono auspicabili più soluzioni tra quelle di rimedio possibili per cui, è necessario passare alla fase successiva che presuppone l'introduzione di altri elementi di confronto tra i quali appunto la valutazione economica. L'aspetto monetario, tuttavia, è considerato come l'ultimo elemento decisionale nella scelta della metodologia di risoluzione dei problemi in esame in quanto entrano in gioco numerosi altri fattori dai quali la decisione non può prescindere. Sarà importante quindi analizzare, caso per caso, tutte le possibili soluzioni di rimedio, verificarne la fattibilità in base ai dati raccolti nelle fasi precedenti, determinarne i benefici effettivi ed infine effettuare la scelta.

### **3.3 Fase 3**

Dopo aver raccolto tutti i dati necessari all'inquadramento del problema si dovranno individuare le possibili opzioni risolutive. Ogni soluzione mirerà a spezzare il legame tra la fonte dell'inquinamento e il ricettore che subisce il danno (SPR linkage) e, per raggiungere quest'obiettivo, potrà agire su una delle seguenti aree specifiche relative a:

- eliminazione del problema alla fonte: source-action
- eliminazione del problema agendo sulle modalità di propagazione dell'inquinante: pathway-action
- eliminazione del problema al ricettore: receptor-action

In base alle valutazioni degli impatti sui recettori e del grado di rischio ad essi associato, si sceglieranno i metodi di rimedio distinti in base alle rispettive aree di azione, secondo lo schema sottostante, in maniera tale da permettere sia un confronto globale tra le soluzioni auspiccate per ogni SPR sia un confronto relativo ai tre campi applicativi. La possibilità di comparazione è utile anche perché spesso l'attuazione di una soluzione influenza in maniera positiva o negativa il raggiungimento di un'altra o agisce indirettamente su un SPR differente da quello per la quale era stata scelta. Sarà fondamentale, quindi, porre particolare attenzione a questi fenomeni soprattutto nel caso in cui le interferenze inficino la buona riuscita della soluzione medesima.

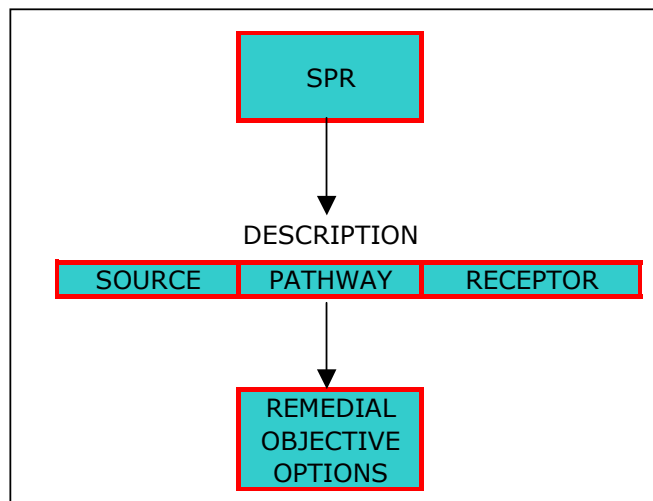


Figura 3.3.1.: Schema relativo alla redazione della lista delle possibili opzioni di rimedio

### 3.3.1 Fattibilità

Alcune soluzioni di rimedio, sebbene siano le più auspicabili, sono spesso soggette ad una serie di limitazioni di fattibilità legate a fenomeni fisici, tecnologici, economici e temporali. La soluzione di totale rimozione della contaminazione, che a prima istanza potrebbe sembrare la migliore perché elimina completamente il problema, spesso incontra numerosi vincoli soprattutto fisici e tecnologici e non è



sempre percorribile. Per ogni soluzione individuata, quindi, è di fondamentale importanza attuare un'analisi di fattibilità, analizzando la disponibilità delle tecnologie richieste e l'applicabilità in situ.

I vincoli alla redazione di un qualsiasi progetto, si dividono nelle seguenti categorie:

- vincoli di carattere fisico (possibilità di accesso all'area, vincoli territoriali o paesaggistici, etc);
- vincoli di carattere tecnologico (utilizzo della tecnologia richiesta in situ, disponibilità, possibilità di trasporto etc.);
- vincoli tempistici (legati al raggiungimento degli obiettivi in tempi che non interferiscano con l'attuale stato di contaminazione);
- vincoli economici.

Già a questo punto dell'analisi è possibile attuare una valutazione economica che preveda l'inserimento dei costi relativi delle varie soluzioni di rimedio in termini di preventivo preliminare di spesa, favorendo così un'ulteriore riduzione della rosa dei candidati dei metodi applicabili e contribuendo a facilitare l'analisi. Alla fine di questa fase si otterrà una matrice rappresentativa di tutte le possibili opzioni risolutive suddivise in base agli elementi di azione (sorgente, percorso, recettore), secondo lo schema sottostante.

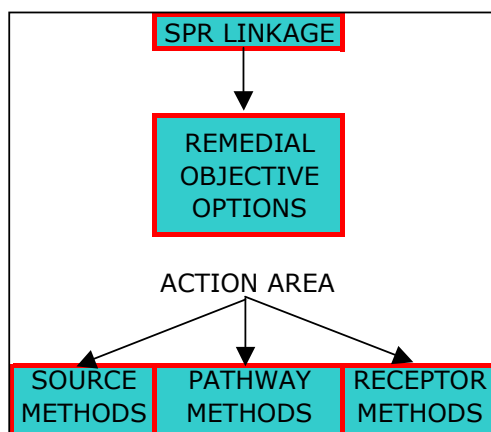


Figura 3.3.1.1: Schema relativo alla redazione della lista delle possibili opzioni di rimedio Schema relativo alla redazione della matrice delle possibili opzioni di rimedio suddivise per campo di azione

In alcuni casi, ad esempio quando i costi relativi sono facilmente identificabili, l'organo decisionale può muoversi già a questo punto dell'analisi verso la scelta del metodo che sarà, generalmente, tra quelli fattibili, il più economico.

Tuttavia, spesso, la valutazione sommaria dei costi non fornisce elementi sufficienti all'effettuazione di una scelta corretta in quanto i metodi auspicati portano a benefici differenti sia gli uni nei confronti degli altri, ma anche in relazione agli organi coinvolti. In questo caso, quindi, è necessaria un'analisi dettagliata che valutati in maniera più approfondita i costi investiti e confronti questi ultimi con i benefici apportati a tutti gli elementi coinvolti nel problema.

### **3.4 Fase 4**

L'analisi costi benefici è generalmente suddivisa in due fasi, una a matrice finanziaria l'altra a matrice economica. La determinazione dei costi totali e dei benefici monetizzabili, insieme con l'applicazione dei tassi economici, costituisce la parte contabile della CBA e rappresenta quindi l'analisi finanziaria del problema. In generale per i progetti privati, questo tipo di analisi è sufficiente alla caratterizzazione del caso perché valuta semplicemente i flussi monetari in ingresso e in uscita dalle "tasche" del fautore del progetto calcolando, quindi, solo le liquidità versate e ricevute in quando non c'è nessuna influenza significativa del progetto medesimo con la collettività.

L'analisi economica vera e propria rappresenta, invece, il contributo del progetto all'economia del paese e non può quindi prescindere dalla valutazione dei costi e dei benefici non direttamente monetizzabili. Questi ultimi, infatti, rappresentano gli effetti del progetto sulla società e sull'ambiente che, anche se non comportano immediate entrate o uscite in termini monetari, comunque influenzano altri aspetti del contesto sociale che è necessario prendere in considerazione.

Un processo di analisi costi benefici è costituito dalle seguenti fasi operative:

- determinazione dell'orizzonte temporale;
- determinazione dei costi totali: (costi di investimento, costi operativi totali etc.);
  - ✓ impliciti,
  - ✓ espliciti;
- valutazione dei benefici monetizzabili (ricavi generati dal progetto);
- valutazione di benefici non monetizzabili;
- applicazione del tasso di inflazione;
- valutazione e applicazione delle correzioni fiscali (I.V.A.);
- scelta e applicazione di un tasso di sconto;
- valutazione dei benefici netti.

### 3.4.1 Scelta orizzonte temporale

Per orizzonte temporale si intende il numero massimo di anni per cui si forniscono le previsioni in merito all'andamento futuro del progetto ed è legato alla tipologia settoriale del caso in esame. Esso in genere è pari alla vita economica utile del progetto e deve essere sufficiente a ricoprire le sue probabili ripercussioni a lungo termine sugli organi coinvolti, sia interni che esterni. La scelta dell'orizzonte temporale può influire in maniera determinante sui risultati dell'analisi perché influisce sui calcoli dei vari indicatori economici usati; di seguito si riportano i valori suggeriti dalla Commissione Europea suddivisi per settore applicativo.

Settore	Periodo di riferimento	Settore	Periodo di riferimento
Energia	15-25	Strade	25-30
Acqua ed ambiente	30	Industria	10
Settore ferroviario	30	Altri servizi	15
Porti ed aeroporti	25		

Tabella 3.4.1.1.:Commissione Europea: Documenti di lavoro metodologici - Orientamenti metodologici per la realizzazione delle analisi costi-benefici

### 3.4.2 Valutazione costi totali

I costi totali rappresentano i costi di investimento e i costi operativi (personale, materie prime, forniture di energia etc.) relativi all'attuazione e realizzazione del progetto e, in questo caso, delle soluzioni di rimedio individuate. Questi, generalmente, vengono divisi in espliciti ed impliciti; i primi rappresentano i costi effettivamente sostenuti con un esborso monetario e i secondi rappresentano quelli che, pur non essendo determinati da un pagamento effettuato, sono individuabili come costi in quanto hanno comportato l'utilizzo di risorse interne all'azienda. Un esempio dei possibili costi da valutare per un progetto di risanamento di un sito contaminato è rappresentato dalle seguenti categorie:

- costi di investimento (costruzioni, attrezzature etc) inclusi i costi per gli studi di fattibilità,
- scorte di materie prime o altro,
- costi di gestione e amministrazione,
- costi del personale tecnico e amministrativo,
- costi energetici.

Generalmente i costi, siano essi impliciti o espliciti, sono sempre prontamente monetizzabili perché rappresentativi di un flusso monetario in uscita, ad essi però si uniscono spesso altri flussi negativi che non rappresentano propriamente dei costi, ma delle *perdite* monetarie, ossia dei valori che entrano negativamente nel bilancio dei flussi di cassa, per i quali, però, non si è provveduto ad un pagamento o ad un investimento. Le perdite, quindi, rappresentando degli indicatori economici e non dei flussi, vengono valutate in base al valore di mercato della grandezza rappresentante la perdita stessa, o come accade per i benefici non monetizzabili, valutandone l'impatto sulla società o sugli organi coinvolti e quindi stabilendo quanto coloro che subiscono la perdita sarebbero disposti ad accettare per subirla volontariamente.

#### 3.4.3 Valutazione dei benefici

Nelle fasi precedenti sono state individuate le possibili soluzioni di rimedio al problema analizzate in base alla loro area di intervento, alla loro fattibilità e al loro costo preventivo. Per i problemi più complessi, tuttavia, è risultato necessario attuare un'analisi più approfondita dei costi investiti nel progetto ed un confronto diretto di questi ultimi con i benefici derivanti dalla realizzazione, e nel caso in esame, dalle soluzioni di rimedio proposte.

Così come visto per i costi, anche i benefici possono essere distinti in due gruppi rappresentati dai benefici privati e da quelli esterni, i primi relativi agli organi istituzionali e non istituzionali coinvolti nella valutazione (proprietari terrieri, enti pubblici, popolazione direttamente coinvolta etc), i secondi relativi a tutti i fattori estrinseci, rappresentati ad esempio dagli elementi ambientali e sociali. Un esempio di valutazione di benefici è rappresentato nella seguente tabella.

<p>Esempi di benefici sociali esterni</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• vantaggi in termini di riduzione dei rischi di incidenti in aree congestionate;</li><li>• risparmi in termini di tempi di trasporto in una rete di collegamenti;</li><li>• aumento della speranza di vita grazie al miglioramento dei servizi di assistenza sanitaria o alla riduzione delle fonti di inquinamento</li></ul> <p>Esempi di costi sociali esterni</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• perdita di produzione agricola a causa di differenti usi dei terreni;</li><li>• costi netti aggiuntivi imposti dalle autorità locali per collegare un nuovo stabilimento alle infrastrutture di trasporto esistenti</li><li>• aumenti dei costi per lo smaltimento fognario.</li></ul>
--

Tabella 3.4.3.1: Commissione Europea: Guida all'analisi costi benefici dei progetti di investimento, anno 2003-Esempi di Benefici sociali

#### 3.4.3.1 Identificazione e valutazione dei benefici prontamente quantificabili

Dei probabili benefici identificati sopra, soltanto alcuni sono prontamente misurabili in termini monetari ed essi rappresentano i ricavi del progetto; ad esempio, la rivalutazione di un sito contaminato attraverso bonifica completa, comporterà un aumento del valore monetario del sito medesimo che potrà essere in questo modo riutilizzato per altri scopi, o, invece, nel caso di acquiferi contaminati, la bonifica di questi ultimi inciderà sul prezzo di mercato dell'acqua in quanto, sui costi di consumo, incideranno quelli relativi ai trattamenti effettuati. Alcune volte, inoltre, i benefici monetizzabili, possono essere quantificati in termini di danni evitati o ridotti.

#### 3.4.3.2 Identificazione e valutazione dei benefici non prontamente quantificabili

Tra i possibili benefici, vi sono anche quelli ai quali non è possibile associare un valore monetario, ed in genere essi sono rappresentati per una gran parte dai vantaggi sull'ambiente come ad esempio il miglioramento della qualità dell'aria o del paesaggio, o da benefici a carattere sociale. Ci sono numerosi metodi di valutazione e quantificazione dei benefici non direttamente monetizzabili, spesso

questi benefici vengono "quantificati" in base alla valutazione di quanto essi possano favorire la crescita (o la diminuzione) dei benefici monetizzabili. Tale valutazione è ovviamente soggettiva non essendo associabile ad essa nessun valore monetario. Un esempio di classificazione è quella a punteggio che associa a ciascun beneficio non monetizzabile un punteggio da 0 a 3 a seconda che il suo contributo alla crescita di ciascun ricavo sia trascurabile (0), di importo marginale (1), notevole (2) o considerevole (3). Molte volte, invece, si preferisce associare ai benefici non monetizzabili (e il più delle volte anche ai costi), un valore monetario indiretto legato ad un altro effetto, ad esempio il beneficio ambientale legato alla bonifica di un sito industriale contaminato può essere espresso in termini di riduzione delle spese sanitarie per i lavoratori. Secondo molti approcci di valutazione, infine, i benefici e anche i costi vengono valutati in base alla loro percezione nella società e quindi, ad esempio, i benefici sono calcolati sulla base di quanto coloro che ne beneficiano sarebbero pagati per assicurarseli; i costi sulla base di quanto quelli che subiscono la perdita sarebbero disposti ad accettare per subirla volontariamente.

#### 3.4.3.2.1 Valutazione della percezione sociale dei beni non monetizzabili

In un'analisi CBA legata ad un progetto di ripristino di un sito contaminato, molti sono i fattori in gioco sia in termini di costi che di benefici, ai quali non può essere prontamente associato un flusso economico in ingresso o in uscita. Un progetto di questo tipo, infatti, ha come obiettivo ultimo proprio quello di migliorare le condizioni ambientali in tutti i settori come la qualità dell'acqua, dell'aria, gli equilibri ecosistemici e così via e ovviamente migliorare le condizioni di vita degli esseri viventi che popolano l'ambiente, compreso l'uomo. E' quest'ultimo aspetto che permette di associare un valore economico ai fattori ambientali in quanto l'aumento della qualità dei beni ambientali, conseguente un progetto di risanamento, produrrà cambiamenti nei benefici sociali associati al loro consumo. Le ripercussioni relative ad alcuni fattori ambientali possono essere direttamente valutate osservando i valori di mercato, ad esempio la riduzione dell'inquinamento marino dovuto ad un progetto di risanamento si rifletterà sul mercato del pesce e quindi sui prezzi di vendita. Altri fattori, invece, non hanno una ripercussione tangibile sul mercato economico perché non ne fanno parte, si pensi, ad esempio, alla conservazione della paesaggio che è un bene ambientale che non esiste sul mercato. Per questi ultimi componenti ambientali, la valutazione economica, mira a stabilire quanto l'uomo è disposto a pagare (o a ricevere) per i benefici associati

all'utilizzo e/o consumo di quel determinato bene; il valore monetario di un bene ambientale rappresenta, così, il cambiamento di benessere di un individuo che ne usufruisce e viene chiamato *valore economico totale*. Il valore economico totale è così definito:

$$\text{Valore economico totale} = \text{valore d'uso} + \text{valore di non uso}$$

Il valore d'uso è la rappresentazione dei benefici che provengono dall'utilizzo di una determinata risorsa ambientale quali ad esempio, attività ricreative (parchi, aree sportive) o attività produttive (agricoltura e silvicoltura); il valore di non uso, invece, rappresenta i benefici che l'uomo trae da determinati fattori ambientali anche senza un diretto utilizzo; molte persone, ad esempio, attribuiscono un valore ad alcuni sistemi ecologici (come quelli tropicali) pur non avendoli mai visitati. Il valore di non uso viene calcolato come somma tra il valore di esistenza e il valore di lascito; il primo rappresenta la disponibilità a pagare per motivi che prescindono da un utilizzo presente o futuro del bene ambientale, il valore di lascito rappresenta il valore che la generazione presente ricava dall'aver conservato il bene per le generazioni future. Ovviamente nella monetarizzazione di un bene non necessariamente concorrono tutti questi fattori, ad alcuni componenti ambientali infatti, viene dato un valore economico solo se è possibile un utilizzo immediato.

Come si può notare dalle definizioni date poc'anzi, i valori ambientali, specialmente quelli di non uso, non rappresentano valori monetari diretti legati ad un particolare fattore ambientale, l'intero valore economico associato ad un bene, non misura quindi la qualità del bene, ma la percezione che la popolazione ha della qualità del bene stesso. Vi sono vari metodi per "quantificare" tale percezione e quindi per quantificare il valore economico del bene, alcuni attingono direttamente dalle informazioni di mercato, altri usano metodi sperimentali di simulazione dei beni ambientali con beni di mercato, altri, infine, utilizzano sondaggi fatti su un campione di popolazione o statistiche di mercato per capire quanto la popolazione spende o risparmia in relazione ad un determinato bene. Successivamente, in fase di definizione del caso studio oggetto di questo elaborato, verranno scelti opportuni metodi di valutazione dei costi e dei benefici a seconda dei dati a disposizione e dei fattori ambientali e sociali che entrano in gioco.

#### 3.4.4 Applicazione del tasso di inflazione

L'applicazione del tasso di inflazione modifica i prezzi utilizzati durante la valutazione delle spese di progetto. Nell'analisi di progetto si utilizzano

generalmente i prezzi costanti, cioè i prezzi corretti rispetto al valore dell’inflazione e riferiti ad un anno base. Tuttavia nell’analisi dei flussi economici in entrata ed uscita si possono utilizzare anche i prezzi cosiddetti correnti, cioè i prezzi nominali effettivamente osservati anno per anno che quindi tengono conto dell’inflazione. Si intuisce come, l’effetto dell’inflazione, cioè l’incremento generale nell’indice dei prezzi, può influenzare il calcolo del rendimento finanziario ed è bene, quindi, tenerne conto.

### 3.4.5 Applicazione del tasso di sconto

Nell’analisi CBA il concetto di costo deve essere considerato in un’ottica diversa da quella tradizionale (spese da sostenere per produrre un bene), che consideri adeguatamente le rinunce sopportate in relazione ai possibili impieghi alternativi del capitale investito. Il tasso di sconto è il tasso al quale i valori futuri sono attualizzati al valore presente, questo valore spesso equivale al costo opportunità capitale che rappresenta la perdita di reddito in un altro progetto al quale si rinuncia per perseguire quello scelto (in termini di beni e risorse). Nella tabella seguente è rappresentato un esempio applicativo.

ES: 1 euro investito al tasso di sconto annuale del 5% diventerà 1 +5%=1,05 dopo un anno,  $(1,05) \times (1,05) = 1,025$  dopo due anni;  $(1,05) \times (1,05) \times (1,05) = 1.57625$  dopo tre anni e così via

Tabella 3.4.5.1: Commissione Europea: Guida all’analisi costi benefici dei progetti di investimento, anno 2003 - Esempio di applicazione di un tasso di sconto al 5%

### 3.4.6 Applicazione della correzione fiscale

La correzione fiscale generalmente è rappresentata dall’I.V.A. Caso per caso, comunque, è possibile, riferirsi ad altri fattori in relazione alle imposte direttamente pagate dagli organi coinvolti.

### 3.4.7 Valutazione dei costi effettivi

Dopo la valutazione dei costi e dei benefici legati ai possibili scenari di rimedio si è in possesso di tutti gli elementi necessari per poter effettuare la scelta della opzione più idonea alla risoluzione del problema in esame. Accade spesso, infatti, che un



particolare obiettivo di rimedio prefissato nella seconda fase dell'analisi, possa essere raggiunto attraverso più di una metodologia risolutiva; in questo caso, quindi, l'elemento che permetterà di effettuare la scelta sarà legato al risultato finale dell'analisi CBA e quindi alla soluzione che, oltre ad essere adatta al raggiungimento dell'obiettivo prefissato, risulta anche più economica. In base a quanto detto fin'ora, si evince che la scelta finale legata al monitoraggio di un sito contaminato e più in generale, di un qualsiasi progetto, è comunque sempre soggettiva dipendendo da numerosi fattori oltre che da quelli economici; ad esempio può accadere che una particolare metodologia risolutiva, sebbene non risulti la più economica, soddisfi più di uno degli obiettivi prefissati, e quindi risulti comunque più "vantaggiosa"; in questo caso, l'analisi economica rappresenta solo un ulteriore elemento decisionale, poiché non si può prescindere da altri importanti elementi come la probabilità di riuscita del progetto e la velocità di realizzazione.

Di ogni metodologia di rimedio individuata, quindi, in seguito alla formulazione dell'analisi costi-benefici, sono stati valutati i seguenti parametri:

- il periodo di tempo di attuazione dell'opzione di rimedio scelta;
- i flussi di cassa negativi (costi, investimenti, perdite);
- i flussi di cassa positivi (ricavi, benefici).

A questo punto è possibile concludere l'analisi calcolando i benefici netti ossia facendo la differenza tra i costi e i benefici. La scelta della opzione progettuale migliore viene fatta individuando uno o più parametri denominati *indici economici* che permettono un confronto rapido dell'analisi svolta per la singola soluzione proposta e quindi favoriscono la scelta finale. L'indice utilizzato in questa sede è il rapporto B/C definito come:

$$B/C = VAN (E)/VAN (U)$$

dove con E vengono rappresentate le entrate e con U le uscite. IL VAN (Valore Attuale Netto), rappresenta la somma dei benefici di un progetto (B) attualizzati, al netto dei costi (C) pure essi attualizzati; se essa è maggiore di 1, il progetto risulta conveniente, perché i benefici superano i costi altrimenti se è minore di 1, il progetto non risulta conveniente. La scelta di questo indice è legata alla sua semplicità di valutazione, inoltre esso non dipende dalla grandezza

dall'investimento del progetto, a differenza di altri parametri come il TRI<sup>1</sup>, infatti è molto utilizzato anche per l'analisi CBA dei grandi progetti di investimento.

#### **4.1 Fase 5**

L'analisi di sensibilità ha lo scopo di individuare i parametri critici utilizzati nella valutazione dei costi e dei benefici ossia quei parametri le cui variazioni possono modificare di volta in volta i risultati del processo influenzando sui valori del rapporto B/C. In genere per critiche si assumono quelle variabili la cui variazione dell' 1% comporta una variazione del 5% nel VAN.

Per attuare una corretta analisi di sensibilità occorre:

- individuare tutte le variabili utilizzate nella valutazione raggruppandole per categorie omogenee,
- verificare l'indipendenza di ogni singolo parametro o variabile, per evitare eventuali effetti ridondanti,
- selezionare i parametri il cui valore è soggetto a variazioni temporali e verificare l'incidenza dell'entità della variazione sul valore di B/C,
- selezionare le variabili critiche in base alla verifica effettuata al punto precedente e calcolare la variabilità dei parametri economici estrapolati dall'analisi in funzione delle variabili suddette attraverso la costruzione di una curva di probabilità definita in un intervallo di valori nell'intorno della migliore stima.

Al termine di questa procedura, è possibile individuare la distribuzione di probabilità del parametro economico di valutazione utilizzato attraverso il calcolo delle probabilità composte di più eventi indipendenti:

$$P(\text{unione } E_{nj}) = P(E_{k1}) * P(E_{k2}) * \dots * P(E_{kj}).$$

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di variabili che possono essere critiche nello studio dei contaminati:

- tasso di sconto;
- costo delle tecnologie necessarie;
- dinamiche dei costi nel tempo di alcuni beni utilizzati come, ad esempio elettricità, acqua etc.;
- errore nelle misurazioni delle quantità delle sostanze inquinanti;

---

<sup>1</sup> Il tasso di rendimento interno è definito come quel tasso di interesse che rende nullo il valore attuale netto dell'investimento.

- cambiamento delle aspettative di uso futuro del sito bonificato e quindi della stima del valore finale del sito stesso.

Con questa procedura, oltre che alla valutazione della sensibilità del progetto di rimedio selezionato nei confronti dei parametri economici utilizzati, si effettua una vera e propria analisi di rischio in quanto alla curva è possibile assegnare un grado di rischio relativo al progetto attraverso la valutazione della probabilità di superamento di un valore stabilito che rappresenta la buona riuscita del progetto medesimo. Questo rappresenta un ulteriore elemento decisionale a disposizione degli organi coinvolti poiché permette di giudicare una soluzione che, ad esempio, risulta la più vantaggiosa da un punto di vista economico, sociale ed ambientale, comunque non conveniente e fattibile in quanto avente scarse probabilità di riuscita.

Dopo aver stilato le linee guida da seguire per la rappresentazione e caratterizzazione di un sito contaminato e i criteri necessari per individuare la scelta progettuale da intraprendere, si passa alla descrizione del caso in esame e all'applicazione, su esso, delle tecniche fin'ora esposte.

#### **4. Applicazione al caso studio**

Dopo aver analizzato le fasi di un processo LCA si passa all'applicazione della metodologia al caso studio prescelto. Esso riguarda il Progetto Definitivo degli interventi di bonifica ambientale che la società Fassa S.p.A. intende effettuare, nel sito di Fusina, di sua proprietà, ubicato all'interno del più grande sito di interesse Nazionale di Porto Marghera (VE). L'obiettivo di questo lavoro è quello di valutare l'adattabilità di una metodologia di analisi utilizzata generalmente per effettuare Valutazioni dell'Impatto Ambientale al caso di un processo di bonifica di siti contaminati. In questo caso l'applicazione dell' LCA è attuata secondo un obiettivo contrario rispetto alla norma. Generalmente, infatti, essa è utilizzata per quantificare l'impatto negativo di un'attività sull'ambiente e verificare che esso non comporti particolari condizioni rischiose per l'ambiente medesimo; in questo ambito, invece, l'LCA viene utilizzata per valutare l'effetto positivo di un'attività sulle componenti ambientali ovvero la riduzione del grado di pericolo al quale erano precedentemente sottoposte le matrici ambientali. Il risultato finale sarà comunque, una valutazione di impatto dell'opera sull'ambiente che, in concomitanza con l'analisi dei costi e dei benefici servirà da strumento decisionale per stabilire la fattibilità e la bontà della soluzione di rimedio prescelta. Di seguito

verrà descritto brevemente il sito in esame e successivamente le fasi di attuazione della metodologia LCA.

#### ***4.1 Inquadramento del sito in esame***

L'area oggetto del presente studio è collocata nel complesso Petrolchimico di Marghera in provincia di Venezia; in particolare essa si trova nella microarea di Fusina per la quale è previsto in futuro un utilizzo come area di movimentazione e stoccaggio di materiali per l'edilizia. Attualmente l'area è frequentata dai tecnici della ditta EDISON che controllano la linea di metano presente all'interno.

##### Assetto geologico

Il sito in esame può essere suddiviso in due zone una relativa all'area dove sono presenti i serbatoi di stoccaggio l'altra prospiciente la l'area lagunare, come mostrato nella figura sottostante.

La prima zona è costituita da alternanze argille, limi, sabbie e a volte si nota anche la presenza ghiaie, nella parte centro-orientale sono presenti in abbondanza i fanghi rossi conchiglie, fino a 3 - 4 m di profondità; fanghi rossi, in particolare nel settore centro orientale, plastici e saturi, fino a 6 m di profondità, spesso alternati o mascherati ad argille grigie. Gli orizzonti stratigraficamente sottostanti il riporto sono costituiti da materiali a media-bassa permeabilità e/o sabbie, sabbie limose e di argille. I materiali costituenti l'acquifero della prima falda sono rappresentati da sabbia o alternanze di sabbia e limo, fino alla profondità di 12 - 13 m dal piano campagna.

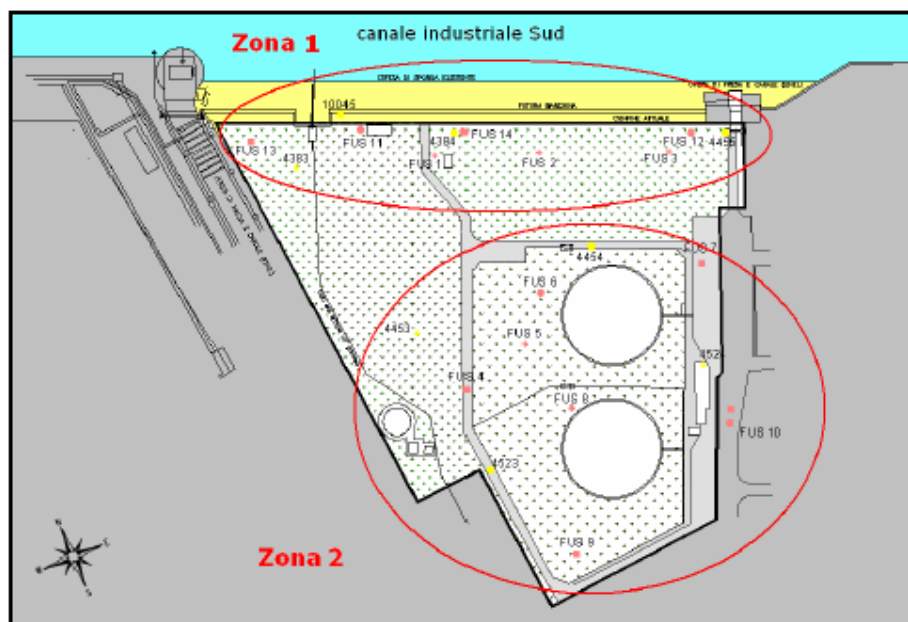


Fig 4.1.1.1: Distinzione delle zone di contaminazione

Al fine di delineare lo stato attuale di contaminazione del sito è stata svolta una campagna di indagini sviluppata su 19 sondaggi così caratterizzati:

- 8 Sondaggi non attrezzati a piezometro,
- 5 Sondaggi attrezzati a piezometro nelle acque di impregnazione,
- 6 Sondaggi attrezzati a piezometro nella prima falda.

Oltre ai sondaggi di cui sopra sono stati realizzati 4 piezometri per la realizzazione in opera del sistema di messa di in sicurezza di emergenza (MISE) relativo alle acque di riporto dei quali 3 nel riporto medesimo visibili nella figura sottostante, e 1 in prima falda.

Alcuni dei piezometri costruiti per i sondaggi questi piezometri sono stati dimessi, attualmente rimangono installati e accessibili 13 piezometri di cui 6 nel riporto e 7 in prima falda. Di questi, 3 risultano in emungimento.

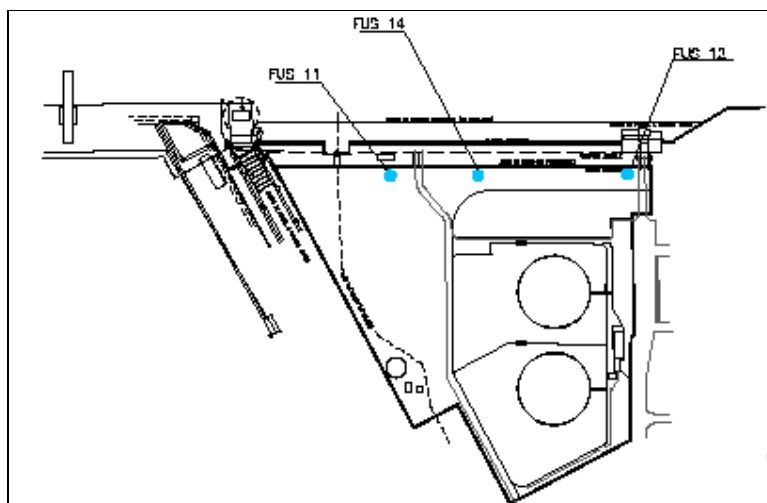


Fig 4.1.2.: Ubicazione piezometri relativi al piano di emergenza MISE

### **4.3 Modello Concettuale**

L'analisi di un sito contaminato, come detto nei capitoli precedenti, mira all'individuazione delle interazioni tra inquinante e sottosuolo ai fini di individuare le aree di intervento dove agire per mitigare o eliminare il fenomeno della contaminazione. Questa caratterizzazione viene fatta attraverso la costruzione del Modello Concettuale che è stato utilizzato, in questo caso, proprio come strumento decisionale per la scelta delle tecniche di bonifica da adottare più adatte all'eliminazione del problema nel sito in esame. Il MC è stato altresì utilizzato come una sorta di linea guida per determinare i confini del sistema, punto di partenza dell'analisi LCA e per lo svolgimento dell'Analisi Costi Benefici come verrà meglio illustrato nei capitoli successivi.

La determinazione del MC si basa sull'individuazione dei percorsi degli agenti inquinanti nonché sulla caratterizzazione delle sorgenti e dei recettori.

#### Individuazione delle sorgenti di contaminazione

Le attività industriali del petrolchimico di PM sono le principali fonti di rilascio di sostanze inquinanti riscontrabili nel sottosuolo, queste attività hanno origini antiche e sono state oggetto di numerosi tentativi di bonifica per cui l'individuazione della specifica sorgente relativa allo stato attuale di contaminazione è oggi piuttosto difficile. In questa sede, pertanto, viene considerato come sorgente e quindi come punto di partenza del percorso compiuto dagli agenti inquinanti, lo stato di contaminazione del sito stesso nel quale da tempo sono presenti sostanze dannose e dal quale esse possono migrare raggiungendo i recettori finali.

La fase di individuazione delle sorgenti si concretizza quindi nella caratterizzazione dello stato di contaminazione attuale non potendo individuare le fonti primarie dalle quali originariamente è scaturito l'inquinante. Lo stato di contaminazione viene definito attraverso i risultati dei sondaggi svolti, opportunamente "spalmati" all'interno dell'intero sito per permettere la copertura di tutta l'area interessata dalla contaminazione. Questo vuol dire che il risultato di un sondaggio, non conoscendo la sorgente primaria di contaminazione, sarà esteso a tutta l'area relativa

I risultati relativi ad ogni singolo sondaggio, infatti, non conoscendo la sorgente primaria di contaminazione, non vengono considerati come dati puntuali, ma vengono estesi a tutta l'area relativa garantendo così di lavorare in condizioni estremamente cautelative; inoltre e tra tutti i valori riscontrati in un determinato sondaggio viene scelto come rappresentativo dell'area quello più alto garantendo un ampio margine di sicurezza dei risultati.

La campagna di indagini di cui si è parlato è stata svolta su una maglia territoriale 50X50 ed è stata impostata sulla valutazione della contaminazione per tre comparti ambientali specifici del luogo che sono:

- Terreno,
- acqua di impregnazione del riporto,
- acqua di prima falda.

Le tre matrici rappresentano in questo modo delle "sorgenti secondarie" dalle quali partire per individuare i pathways possibili degli inquinanti.

Per i valori di concentrazione degli agenti inquinanti in relazione alla tre matrici ambientali si rimanda al capitolo successivo, mentre è possibile osservare l'ubicazione dei sondaggi nella figura 1 di cui si è parlato precedentemente.

Da una prima valutazione dei risultati dei sondaggi è possibile cogliere alcune differenze tra il livello e il tipo di contaminazione relative a differenti caratteristiche del sottosuolo. In base a queste osservazioni, pertanto, per una caratterizzazione più specifica dello stato di contaminazione, l'area oggetto di studio viene suddivisa in due zone, la prima Z1 prospiciente il margine lagunare, a l'altra Z2 più interna. La Z1 è caratterizzata dalla presenza di fanghi rossi e neri non riscontrata nella parte interna del sito, e da un livello di contaminazione da metalli pesanti diffuso, ma con valori bassi di concentrazione. La Z2 è caratterizzata, invece, dalla presenza di metalli, idrocarburi e composti clorurati. In riferimento alla caratterizzazione delle sorgenti, quindi, ogni parametro di contaminazione individuato in ciascun sondaggio effettuato nelle due zone suddette, è esteso alla zona medesima.

### Individuazione dei recettori

I recettori rappresentano le matrici e gli organismi ambientali che venendo a contatto con l'agente inquinante, possono subire dei danni e che quindi si trovano in una condizione di rischio.

Per individuare i potenziali recettori della contaminazione è necessario descrivere l'attuale stato del territorio, il suo utilizzo, i suoi abitanti e le componenti ambientali principali che lo compongono. La zona interessata dal progetto di bonifica si trova in un'area ex industriale utilizzata come sito di scarico e smistamento di materiale edile. Attualmente essa è attraversata dagli operai che controllano la centrale per la depressurizzazione del metano della società Edison. In quest'area non sono presenti edifici residenziali, ma solo edifici ad uso industriale all'interno dei quali non ci sono operai. Dato la situazione nell'area di studio si è preferito concentrare l'attenzione non tanto sui recettori ambientali, già parte integrante della contaminazione, come si nota dalla scelta che è stata fatta nella definizione delle sorgenti, quanto su chi può ancora subire gli effetti della contaminazione stessa, ossia l'uomo. Gli agenti ambientali infatti, fungono più che altro da vettori, da mezzi di trasporto degli inquinanti, che attraverso essi raggiungono l'uomo e in particolare gli operai che lavorano nella zona. Nella situazione ante bonifica la presenza degli operai è sporadica in quanto l'unica attività attualmente esercitata è il controllo della condotta di metano la quale impegna non più di 2 ore al giorno; nella situazione post-bonifica invece, è prevista la presenza degli operai per 9 ore al giorno anche se in un ambiente lavorativo più sicuro.

### Individuazione dei percorsi di contaminazione

Come si osserva da quanto descritto precedentemente, le sorgenti secondarie di contaminazione rappresentano un livello di contaminazione sia superficiale che sotterraneo (suolo profondo e falda) pertanto i percorsi di trasporto degli agenti inquinanti ai ricettori saranno molteplici; gli stessi percorsi, inoltre, differiscono tra loro in base allo stato del sito ante e post bonifica. In questa sede pertanto, avendo fissato come obiettivo la valutazione della bontà della tecnica di bonifica proposta, sarà opportuno considerare entrambe le situazioni anche in relazione alla successiva fase di applicazione della metodologia LCA.

I percorsi di contaminazione rappresentano i vettori di trasporto degli agenti inquinanti verso i recettori, essi possono essere costituiti anche da un percorso nullo intendendo in questo caso che il recettore è venuto direttamente a contatto con il contaminante. I meccanismi di trasporto degli inquinanti sono differenti a seconda di quale sia la sorgente secondaria dalla quale partono, essi comunque,



sono dipendenti da tre vettori principali di connessione tra sorgente e recettore, **acqua, aria e suolo**. A partire da questi tre elementi, gli agenti inquinanti si disperdono nei differenti comparti ambientali attraverso i quali in seguito i ricettori ne vengono a contatto. Nel caso in esame, si noti come, le sorgenti secondarie sono completamente integrate nei vettori, esse infatti sono rappresentative del suolo, sia superficiale che sotterraneo e dell'acqua di falda. Il vettore aria, al contrario, interviene in questo caso solo come agente di trasporto e non come sorgente; gli inquinanti, infatti, non sono direttamente presenti nell'atmosfera, ma vi giungono attraverso meccanismi come volatilizzazione o erosione del suolo. Un quadro completo è visibile nello schema del modello concettuale.

Nello studio dei sistemi di bonifica del sito di PM, essendo lo stadio della contaminazione già fortemente avanzato, più che di percorsi di contaminazione è opportuno parlare di percorsi di esposizione, ossia di quei meccanismi attraverso i quali i ricettori possono venire a contatto con gli inquinanti. In uno studio che come questo è impostato sulla valutazione della bontà del sistema di bonifica di un sito in quanto lo stadio della contaminazione è già noto, è importante, infatti focalizzare l'attenzione non tanto sui "movimenti" degli agenti inquinanti, quanto sulle modalità con cui i recettori ne vengono a contatto verificando poi, la bontà del sistema adottato attraverso la valutazione della diminuzione o dell'annullamento dei possibili modi di contatto.

I percorsi di esposizione si dividono in diretti e indiretti, a seconda che il recettore venga direttamente a contatto con l'inquinante, come ad esempio nel caso di contatto dermico, oppure ne venga a contatto attraverso un altro mezzo.

Le modalità di contatto dei recettori con gli agenti inquinanti sono:

- ingestione
- contatto dermico
- inalazione indoor
  - di polveri
  - di vapori da suolo superficiale
  - di vapori da suolo profondo
  - di vapori da acqua di falda
- inalazione outdoor
  - di polveri
  - di vapori da suolo superficiale
  - di vapori da suolo profondo

- di vapori da acqua di falda

#### Individuazione dei modelli concettuali

Come accennato precedentemente le interazioni tra sorgenti e recettori che definiscono i pathways costruttivi dei percorsi di esposizione, differiscono tra la situazione prima e dopo la bonifica. La costruzione delle opere finalizzate alla riduzione della contaminazione, infatti, modificherà le modalità di interazione degli inquinanti con i ricettori, modificherà gli scambi tra sorgenti e vettori di propagazione, in poche parole modificherà sostanzialmente la struttura del Modello Concettuale.

In base alla descrizione del sito di interesse e del suo attuale sfruttamento come area industriale, si escludono attività svolte in ambienti chiusi per cui i possibili vettori di esposizione dei lavoratori con gli inquinanti sono tutti legati a contatti in ambiente esterno e sono:

- ingestione
- contatto dermico
- inalazione outdoor
  - di vapori da suolo superficiale
  - di vapori da suolo profondo
  - di vapori da acqua di falda

Nella situazione post operam, invece, è prevista la posa in opera di una pavimentazione costituita rigida in asfalto che eliminerà qualsiasi problema legato a contaminazione attraverso ingestione e contatto dermico; anche all'interno degli edifici, inoltre, per questioni di sicurezza, verrà posizionata una guaina bituminosa impermeabile al di sotto dei pavimenti in tutti i luoghi nei quali sono previsti posti fissi di lavoro. La costruzione degli edifici nel lato sud-est, adibiti a sedi lavorative con postazioni fisse, comporterà per i lavoratori l'istaurarsi di nuovi percorsi di esposizione indoor relativi all'inalazione di vapori, e rimarranno attivi i rischi legati ai problemi di inalazione outdoor. I percorsi di esposizione legati alla situazione post bonifica sono quindi:

- inalazione outdoor
  - di vapori da suolo superficiale
  - di vapori da suolo profondo
  - di vapori da acqua di falda
- inalazione indoor

- di vapori da suolo superficiale
- di vapori da suolo profondo
- di vapori da acqua di falda

#### **4.4 Applicazione della metodologia LCA**

Dopo aver descritto il sito interessato dall'analisi si può passare all'applicazione vera e propria della metodologia LCA al caso studio ripercorrendo, step dopo step, la procedura descritta nel capitolo 1.

Si descrivono di seguito gli interventi progettuali che si intende realizzare.

#### **4.5 Interventi di bonifica**

La scelta degli interventi da realizzare nell'area petrolchimica di PM è stata pilotata da una serie di considerazioni relative all'origine della contaminazione e al suo stato attuale.

L'area di interesse è infatti di origine artificiale ed è stata ricavata dall'imbonimento dell'originaria area barenale devastata dai rifiuti provenienti dalla prima area industriale che avevano invaso anche i canali limitrofi. Allo stato attuale quindi la situazione di contaminazione è la seguente:

- Non è possibile individuare le sorgenti primarie perché non più attive;
- Le attuali sorgenti di contaminazione scaturiscono dalle primarie (fanghi rossi, fanghi neri, terreno contaminato da composto organo-alogenati) e non possono essere rimosse;
- La contaminazione rimarrà confinata all'interno dell'area interessata dal presente studio.

E' necessario soffermare l'attenzione sul secondo e terzo punto dell'elenco di cui sopra. La contaminazione attuale dell'area di interesse è relativa, infatti, ai materiali utilizzati in fase di bonifica dall'inquinamento proveniente dalla Prima fase Industriale. In questa fase appunto, l'accumulo di rifiuti nella vicina isola di Tresse, le attività di dragaggio e movimento natanti, e il deposito incontrollato dei rifiuti nella medesima zona oggetto dell'attuale intervento, resero necessaria un'azione di bonifica affidata quasi interamente alla posa in opera di fanghi rossi. Quest'ultima operazione ha peggiorato le condizioni in situ causando uno stato di contaminazione di fondo che è presente tutt'oggi nell'area. Lo stato di contaminazione attuale risulta quindi distribuito su tutta la superficie ed inoltre, gli inquinanti si trovano a

diverse profondità e con diverse concentrazioni per cui la loro totale rimozione risulta, oltre che difficile, piuttosto dispendiosa.

La metodologia di bonifica prevista, pertanto, non potendo essere costruita sulla rimozione della contaminazione e delle relative sorgenti né tanto meno sui recettori in quanto la destinazione futura dell'area è già prestabilita e relativa al settore industriale; mira ad intervenire sui percorsi di esposizione ed inoltre si pone come ulteriore obiettivo quello di tenere confinata lo stato di inquinamento all'area di interesse.

### 1° OPERA: Copertura rigida

Per copertura rigida dell'area interessata dalla contaminazione si intende il rivestimento della superficie attraverso un sistema di pavimentazione effettuato con la posa in opera di una soletta di calcestruzzo di spessore pari a 20 cm; fa parte di questo intervento anche la costruzione di fabbricati silos e impianti in quanto la loro posa in opera contribuisce a coprire la superficie. L'area totale interessata da questo tipo di intervento sarà pari a 48.000 m<sup>2</sup> ossia circa l'85% della superficie totale, per le diverse tipologie di pavimentazione si rimanda alla tavola 4. Sul lato est della zona di intervento, precedentemente sede dei serbatoi di stoccaggio carburante già bonificati nel 2002, verranno costruiti i fabbricati e la viabilità di accesso e manovra; sul lato ovest, invece, verrà posata in opera la copertura con soletta in c.a. al di sotto della quale scorrerà la linea del metano. La zona centrale, infine, sarà destinata al deposito temporaneo di inerti e sarà rivestita da una copertura flessibile di cui si parlerà più avanti. L'obiettivo di questa prima metodologia di intervento è legato all'eliminazione dei rischi provenienti dal contatto dermico e dall'inalazione di polveri. Si fa notare, che, l'area sarà interessata anche da altri interventi non prettamente finalizzati alla bonifica. Nel caso delle coperture, ad esempio, è necessario precisare che verrà conservata una zona con copertura permeabile adibita a parcheggio auto e automezzi, finalizzata a garantire la ricarica della falda.

### 2° OPERA Copertura flessibile

L'intervento relativo alla posa in opera della copertura flessibile ha come obiettivo primario quello di salvaguardare e prevenire l'istaurarsi di nuovi fenomeni di contaminazione durante la fase di realizzazione del nuovo sistema impiantistico della zona di Fusina. L'area relativa alla posa in opera della copertura flessibile, pari a 6000 m<sup>2</sup> circa, è destinata, infatti, allo stoccaggio dei materiali inerti utilizzati

nelle successive fasi costruttive. La copertura verrà realizzata attraverso la posa in opera di una geomembrana in polietilene ad alta densità (HDPE) composta di teli elettrosaldati con larghezza ,5,8 metri e lunghezza 100 metri alla quale viene sovrapposto uno strato di geotessuto con la funzione di separazione e per evitare punzonature. Quest'ultimo sarà anticontaminante in polipropilene o polietilene in telo "geotessile" non tessuto del peso non inferiore a 200 g/m<sup>2</sup>.

La geomembrana è composta per il 97% da polimero base 2% nero carbonio (CB), ha uno spessore di circa 2 mm, una densità di 0.950 g/cm<sup>3</sup> e una resistenza al punzonamento statico maggiore di 6 KN; la posa in opera avverrà al di sopra di uno strato di regolarizzazione in sabbia dello spessore variabile. Sopra il geotessile verrà posato infine uno strato di regolarizzazione costituito da materiale inerte dello spessore di circa 20 cm.

Tutto il sistema garantirà l'impermeabilizzazione della superficie effettuata attraverso la posa in opera dei teli di geomembrana per almeno 20 cm collegandoli tramite elettrosaldatura doppia.

### 3° OPERA Dreni verticali

Tra le opere di bonifica attuate nel sito di PM, quella dei dreni verticali è tuttora presente nell'area di interesse. Risultano infatti, in emungimento 3 dei piezometri utilizzati anche in fase di indagine disposti lungo il confine lagunare attuale che sono il FUS 11, FUS 12 e il FUS 14. Lo scopo di questo intervento è quello di intercettare le acque di impregnazione del riporto contaminate isolando il canale lagunare; il sistema di drenaggio, inoltre, garantirà la regolazione delle pressioni interne sulle palancole poste in opera per la sistemazione spondale, di cui si parlerà di seguito. Tali piezometri verranno poi sostituiti da una trincea drenante in fase di progettazione esecutiva non appena saranno terminate le opere di conterminazione delle sponde. In relazione a tale intervento si prevede anche il mantenimento dei piezometri FUS 13 e FUS 7 di intercettazione delle acque di prima falda con lo scopo di individuare e smaltire eventuali sovrappressioni e ridurre la differenza di carico tra acqua di falda e canale lagunare. L'attività di drenaggio sarà regolata in base al valore della pressione idrostatica dell'acqua di falda che a sua volta influenza la circolazione idrica nel sottosuolo e quindi la concentrazione degli inquinanti. Le acque emunte dal sistema di drenaggio, sono attualmente stoccate in apposite cisterne e convogliate verso un idoneo impianto di trattamento; in fase esecutiva del progetto di bonifica, invece, è previsto il collettamento immediato delle acque emunte in apposito impianto. In relazione a tale intervento si prevede anche il

mantenimento dei piezometri FUS 13 e FUS 7 con lo scopo di individuare eventuali sovrappressioni

#### 4° OPERA MNA

La terza tecnica di rimedio proposta in questa sede, rappresenta, in realtà, un intervento di controllo della contaminazione e di monitoraggio degli interventi precedentemente esposti. Verrà quindi nesso appunto un sistema di valutazione del corretto funzionamento delle opere presenti e da costruire e dell'evoluzione dei naturali fenomeni di attenuazione della contaminazione legati all'azione della microfauna batterica presente nel terreno e della dispersione idrogeologica.

#### Altri interventi: SISTEMAZIONE SPONDALE

Tra gli interventi previsti, anche se non prettamente legato alla riduzione e al controllo della contaminazione in situ, è da elencare anche il progetto di conterminazione delle sponde lacunari. Tale intervento prevede l'infissione di palandole nelle argille di confine della falda lungo il perimetro del canale industriale Sud. In questo modo si garantisce una sorta di isolamento idraulico dell'acqua di falda e degli inquinanti presenti in essa, inoltre la presenza delle palandole eviterà l'instaurarsi di fenomeni erosivi delle sponde con possibile trasferimento in laguna degli inquinanti presenti nei riporti.

#### **4.6 Fase I**

L'applicazione della metodologia LCA al caso studio in esame mira all'individuazione della bontà della tecnologia di bonifica adottata per il sito di Fassa. L'obiettivo del progetto è quindi quello di individuare i parametri rappresentativi dello stato di inquinamento ante e post operam e confrontarlo tra di loro in maniera tale da verificare la riduzione di quei valori che rappresentano "il danno" provocato dall'attività industriale di Porto Marghera. Le informazioni che si è reso necessario raccogliere per il conseguimento degli obiettivi prefissati, pertanto, sono le seguenti:

- parametri ambientali ante e post bonifica
- parametri caratteristici del terreno e dell'acquifero ante e post bonifica
- parametri dell'esposizione dei lavoratori ante e post bonifica

- concentrazione degli inquinanti ante e post bonifica.

Attraverso una lettura delle indagini svolte in situ, infatti, si è potuto constatare che i parametri di cui sopra sono i più rappresentativi dei cambiamenti apportati dai lavori di bonifica svolti nell'area in esame. Inoltre, i suddetti parametri sono strettamente legati tra loro; i cambiamenti legati ai fattori ambientali come ad esempio la tipologia insediativa del sito (destinato ad area industriale), influenza i percorsi di esposizione legati ai fenomeni di inalazione; o ancora i parametri del terreno modificati in relazione alle pavimentazioni previste in progetto, modificheranno i pathways legati ad esempio ai fenomeni di contatto dermico .

Il modello analogico su cui impostare la costruzione del LCI è pertanto basato sulla valutazione dei cambiamenti dei parametri suddetti in relazione all'opera prevista e sulla comprensione delle interazioni tra di essi.

#### **4.7 Fase II**

In questa fase vengono raccolti ed organizzati tutti i dati relativi alla valutazione del ciclo di vita del sistema di bonifica adottato nell'area di interesse. Per ciò che concerne la fase di raccolta dati, ci si è basati sui risultati delle indagini svolte dalla società IDROGEA S.r.l. e sulla descrizione delle opere da realizzare menzionate sul "Progetto di Bonifica definitivo Fassa S.p.A." Si è detto precedentemente che i dati che interessano ai fini della valutazione dell'LCA sono relativi ai cambiamenti che le opere previste in progetto apportano all'ambiente circostante poiché, in base ai questi, verranno modificati i percorsi di esposizione dei lavoratori rispetto agli agenti inquinanti.

Nelle tabelle seguenti vengono pertanto sintetizzate le opere di bonifica previste dalle quali è importante partire per individuare i fenomeni di eliminazione della contaminazione; si ricorda inoltre che nel sito è prevista un'attenta attività di monitoraggio e controllo del fenomeno soprattutto in virtù dell'elevata capacità autodepurativa del terreno.

<b>COPERTURA FLESSIBILE</b>	
Area di intervento	Suolo superficiale
Posizione	Vedi tavola
Dimensioni	6000 mc
Intervento: Costruzione di	Posa in opera di una geomembrana ad alta densità (HDPE) composta da teli elettrosaldati con larghezza 5,8 m e lunghezza 100 m alla quale è sovrapposta uno strato di geotessuto

<b>COPERTURA RIGIDA</b>	
Area di intervento	Suolo superficiale
Posizione	vedi tavola
Dimensioni	48000 mc
Intervento: Costruzione di	Fabbricati
	Silos
	Impianti
	Piazzali asfaltati con soletta in c.a. s= 20 cm

<b>DRENI VERTICALI</b>	
Area di intervento	Suolo profondo/falda
Posizione	Vedi tavola
Dimensioni	nn
Intervento	Intercettazione delle acque di riporto attraverso l'emungimento dai piezometri FUS 11, FUS 12 e il FUS 14 e mantenimento dei piezometri FUS 13 e FUS 7 di intercettazione delle acque di prima falda con lo scopo di individuare e smaltire eventuali sovrappressioni

Tabelle 4.7.1/2/3: Riepilogo opere di bonifica.

La capacità autodepurativa, infatti è la principale causa della modifica delle concentrazioni degli inquinanti in quanto le opere progettuali vere e proprie mirano soprattutto ad eliminare le possibili vie di contatto tra inquinante e uomo.

Le concentrazioni degli inquinanti ante e post operam, elencate nelle tabelle seguenti, sono suddivise in relazione agli inquinanti presenti nei terreni, nelle acque di impregnazione e nelle acqua di falda, in quanto differenti sono i fenomeni autodepurativi agenti in questi tre comparti ambientali.



TERRENI					
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcSuoloSS	ConcSuoloTQ
Z1	FUS2/5,2	1795	Arsenico	257	226,16
Z1	FUS2/5,2	1804	Mercurio	22	19,36
Z1	FUS3/4,5	1809	Zinco	4420	3889,6
Z1	4384/0,75	1797	Cadmio	47	43,71
Z1	4384/2,25	1797	Cadmio	202	177,76
Z1	FUS2/5,2	1856	EC> 16-18 alifatici	869	764,72
Z1	FUS2/5,2	1872	C> 16-18 alifatici	869	764,72
Z2	FUS9/5,6	1795	Arsenico	59	51,92
Z2	4453/3,6	1804	Mercurio	6	5,28
Z2	FUS7/0,1	1873	C> 18-36 alifatici	2965	2757,45
Z2	FUS7/0,1	1857	EC> 18-35 alifatici	2965	2757,45

Tabella 4.7.4 :Valori di concentrazione degli inquinanti nei terreni relativi alla situazione ante-operam (mg/ks suolo superficiale)

ACQUA SUPERFICIALE				
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcFalda (mg/l)
Z1	4455/1,86	1799	Cobalto	0,0511
Z1	4455/1,86	1801	Ferro	4,357
Z1	4455/1,86	1803	Manganese	0,873
Z1	4455/1,86	1770	Benzo(a)pirene	0,000041
Z1	4455/1,86	1769	Benzo(g,h,i)perilene	0,000047
Z1	4455/1,86	1843	Tallio	0,0023
Z1	FUS12/1,86	1795	Arsenico	0,05
Z1	FUS12/1,86	1806	Selenio	0,0329
Z2	4523/1,86	1801	Ferro	2,943
Z2	4523/1,86	1805	Nichel	0,0621
Z2	4523/1,86	1802	Piombo	0,011
Z2	4523/1,86	1803	Manganese	0,416
Z2	4523/1,86	1775	Cloruro di vinile	0,009
Z2	4523/1,86	1777	1,1-Dicloroetilene	0,009
Z2	4523/1,86	1778	Tricloroetilene	0,003

Tabella 4.7.5 :Valori di concentrazione degli inquinanti nelle acque superficiali relativi alla situazione ante-operam (mg/l)

ACQUA I°FALDA				
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcFalda
Z1	4384/6	1777	1,1-Dicloroetilene	0,004
Z1	4384/6	1778	Tricloroetilene	0,002
Z1	FUS13/6	1805	Nichel	0,042
Z1	FUS13/6	1775	Cloruro di vinile	0,0008
Z1	FUS6/1,86	1919	Fluoruri	4,586
Z2	FUS7/6	1795	Arsenico	0,0121

Tabella 4.7.6:Valori di concentrazione degli inquinanti nelle acque di I° falda relativi alla situazione ante-operam (mg/l)

TERRENI					
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcSuoloSS	ConcSuoloTQ
Z1	FUS2/5,2	1795	Arsenico	257	226,16
Z1	FUS2/5,2	1804	Mercurio	22	19,36
Z1	FUS3/4,5	1809	Zinco	4420	3889,6
Z1	4384/0,75	1797	Cadmio	47	43,71
Z1	4384/2,25	1797	Cadmio	202	177,76
Z1	FUS2/5,2	1856	EC>16-18 alifatici	869	764,72
Z1	FUS2/5,2	1872	C>16-18 alifatici	869	764,72
Z2	FUS9/5,6	1795	Arsenico	59	51,92
Z2	4453/3,6	1804	Mercurio	6	5,28
Z2	FUS7/0,1	1873	C>18-36 alifatici	2965	2757,45
Z2	FUS7/0,1	1857	EC>18-35 alifatici	2965	2757,45

Tabella 4.7.7: Valori di concentrazione degli inquinanti nei terreni relativi alla situazione post-operam (mg/ks suolo superficiale)

ACQUA SUPERFICIALE				
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcFalda (mg/l)
Z1	4455/1,86	1799	Cobalto	0,0511
Z1	4455/1,86	1801	Ferro	4,357
Z1	4455/1,86	1803	Manganese	0,873
Z1	4455/1,86	1770	Benzo(a)pirene	0,000041
Z1	4455/1,86	1769	Benzo(g,h,i)perilene	0,000047
Z1	4455/1,86	1843	Tallio	0,0023
Z2	4523/1,86	1801	Ferro	2,943
Z2	4523/1,86	1805	Nichel	0,0621
Z2	4523/1,86	1802	Piombo	0,011
Z2	4523/1,86	1803	Manganese	0,416
Z2	4523/1,86	1775	Cloruro di vinile	0,009
Z2	4523/1,86	1777	1,1-Dicloroetilene	0,009
Z2	4523/1,86	1778	Tricloroetilene	0,003

Tabella 4.7.8 : Valori di concentrazione degli inquinanti nelle acque superficiali relativi alla situazione post-operam (mg/l)

ACQUA I°FALDA				
CodiceCatastaleZona	CodicePunto	IDContaminante	Contaminante	ConcFalda (mg/l)
Z1	4384/6	1777	1,1-Dicloroetilene	0,004
Z1	4384/6	1778	Tricloroetilene	0,002

Tabella 4.7.9 : Valori di concentrazione degli inquinanti nelle acque di I° falda relativi alla situazione post-operam (mg/l)

Come si può notare nella situazione post operam non è più presente l'arsenico nell'acqua di prima falda nella zona 2 e nella zona 1 in relazione alle acque superficiali; inoltre sono scomparsi il cloruro di vinile, il nichel e i fluoruri nell'acqua di prima falda nella zona 1, e il selenio nelle acque superficiali sempre nella zona 1. I sistemi di bonifica previsti insieme con la capacità autodepurativa del terreno apportano di fatti una riduzione della contaminazione.

La valutazione dell'LCA, non può infine prescindere dalla conoscenza delle informazioni relative all'impatto degli inquinanti sull'ambiente, che come illustrato della parte descrittiva del modello concettuale è relativa all'impatto sull'uomo; di conseguenza, pertanto, l'ultima fase di raccolta dati riguarda la valutazione dei parametri di rischio a cui sono sottoposti i lavoratori. Nella tabelle seguenti, vengono pertanto sintetizzati i valori dei parametri relativi ai possibili rischi a cui sono sottoposti gli operai ossia:

- rischio derivante dalla presenza di sostanze non cancerogene,
- rischio derivante dalla presenza di sostanze cancerogene,
- rischio derivante dalla presenza di idrocarburi.

Rischi totali	Da suolo superficiale		Da suolo profondo		Da falda		Riferimento	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
<b>Rischio cancerogeno</b>	9,17E-11	0	0	0	2,28E-09	5,86E-08	1,00E-05	1,00E-05
<b>Rischio non cancerogeno</b>	7,05E-02	0	0	0	0,00000534	1,32E-04	1	1
<b>Rischio da idrocarburi</b>	0	0,00465	0,00028	0	0	0	1	1

Tabella 4.7.10 :Valori dei parametri di rischio nella situazione ante-operam

Rischi totali	Da suolo superficiale		Da suolo profondo		Da falda		Riferimento	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
<b>Rischio cancerogeno</b>	0	0	0	0	9,12E-08	9,93E-08	1,00E-05	1,00E-05
<b>Rischio non cancerogeno</b>	0	0	0	0	2,28E-04	2,09E-04	1	1
<b>Rischio da idrocarburi</b>	0	3,01E-04	7,38E-02	0	0	0	1	1

Tabella 4.7.11 :Valori dei parametri di rischio nella situazione post-operam

Con la conoscenza di questi elementi è stato possibile costruire l'inventario dei dati con l'obiettivo di valutare e quantificare i flussi di materia in entrata e in uscita dal sistema.

L'inventario è stato redatto focalizzando l'attenzione sui singoli interventi progettuali di bonifica e valutando per ognuno di essi, quali fattori caratteristici del sito contribuiscano a modificare ossia se la tecnologia agisce sui parametri ambientali, su quelli di caratterizzazione idrogeologica o su quelli relativi all'esposizione dei lavoratori. Per ognuna di queste tre categorie, inoltre, si è proceduto poi alla valutazione della tipologia di pathways sulla quale agisce, definendo così le direzioni dei flussi di materia. In questa sede, quando si parla di flussi di materia si intende rappresentare simbolicamente la concentrazione degli inquinanti perché è da questo parametro che scaturisce la valutazione dell'impatto dell'opera sull'ambiente; tuttavia nel LCI si è preferito sostituire, per fini pratici, la concentrazione degli inquinanti direttamente con il valore di rischio associato alla loro presenza; questa sostituzione definisce anche l'unità funzionale principale che è, per l'appunto, il grado di rischio.

Il rischio derivante da sostanza non cancerogene è stato definito come:

$$HI = MDI/TDI$$

dove MDI= Dose massima assunta giornalmente ("Maximum Daily Intake") da un recettore umano presente in sito e TDI= dose tollerabile giornaliera ("Tolerable Daily Intake") che per unità di peso corporeo può essere assunta dall'uomo senza che nel suo organismo si produca un danno. Il valore limite accettabile per HI = 1.

Il rischio derivante da sostanza cancerogene è definito come:

$$R = CDI * SF$$

dove CDI è la dose cronica assunta giornalmente da un recettore e SF è il parametro tossicologico per le sostanze cancerogene e rappresenta il coefficiente angolare che interpola, nella zona delle basse dosi, i risultati derivanti da test di laboratorio, tale parametro è dato dalla pendenza della curva dose assunta/risposta nel tratto delle basse dosi (in relazione al fatto che si valuta l'effetto sull'uomo per tempi di esposizione lunghi). Il valore limite accettabile di rischio è assunto pari a  $1 \cdot 10^{-6}$  per la singola sostanza e pari  $1 \cdot 10^{-5}$  per la sommatoria cumulativa del rischio derivante da più sostanze.

Il rischio derivante dagli idrocarburi è invece relativo alla presenza degli idrocarburi è stato valutato con i metodi MADEP e THPCWG per la definizione dei quali si rimanda alla letteratura. Tra i valori scaturiti da ogni analisi è stato scelto il maggiore per restare in condizioni di sicurezza.

Una volta noti tutti i parametri in gioco nel sistema è possibile passare alla fase successiva di valutazione dell'impatto.

#### **4.8 Fase III**

La terza fase del processo di valutazione rappresenta il Life Cycle Impact Assessment ed è in generale finalizzata alla valutazione degli impatti dell'opera o del processo analizzato sull'ambiente. Nel caso delle tecnologia di bonifica applicata al sito di Fusina dovranno essere analizzati, al contrario, i miglioramenti apportati all'ambiente dalla realizzazione delle opere previste in progetto e verificare quindi la riduzione dell'impatto rispetto alla situazione ante-operam. Nel capitolo relativo alla descrizione delle fasi di un processo LCA, sono stati elencati gli ecoindicatori rappresentativi dell'impatto ambientale suddivisi in base alla loro rappresentatività su scala globale, regionale o locale. Il caso studio descritto in questa sede analizza una situazione a carattere prettamente locale in quanto è una realtà radicata da anni nello scenario industriale veneto ed inoltre è comunque circoscritta all'area di ubicazione degli impianti.

L'area in esame, infatti, è stata oggetto di molti interventi tra cui in particolare quello relativo alle opere di conterminazione delle sponde dei canali industriali prospicienti l'area oggetto d'intervento, da parte del Magistrato alle Acque di Venezia. Questi interventi garantiscono il completo contenimento della contaminazione e mettono in sicurezza permanente i suoli e le acque di falda sottostanti nei confronti della laguna di Venezia. L'area oggetto dell'intervento è pertanto un'area *"integralmente isolata dall'ambiente lagunare esterno"*.

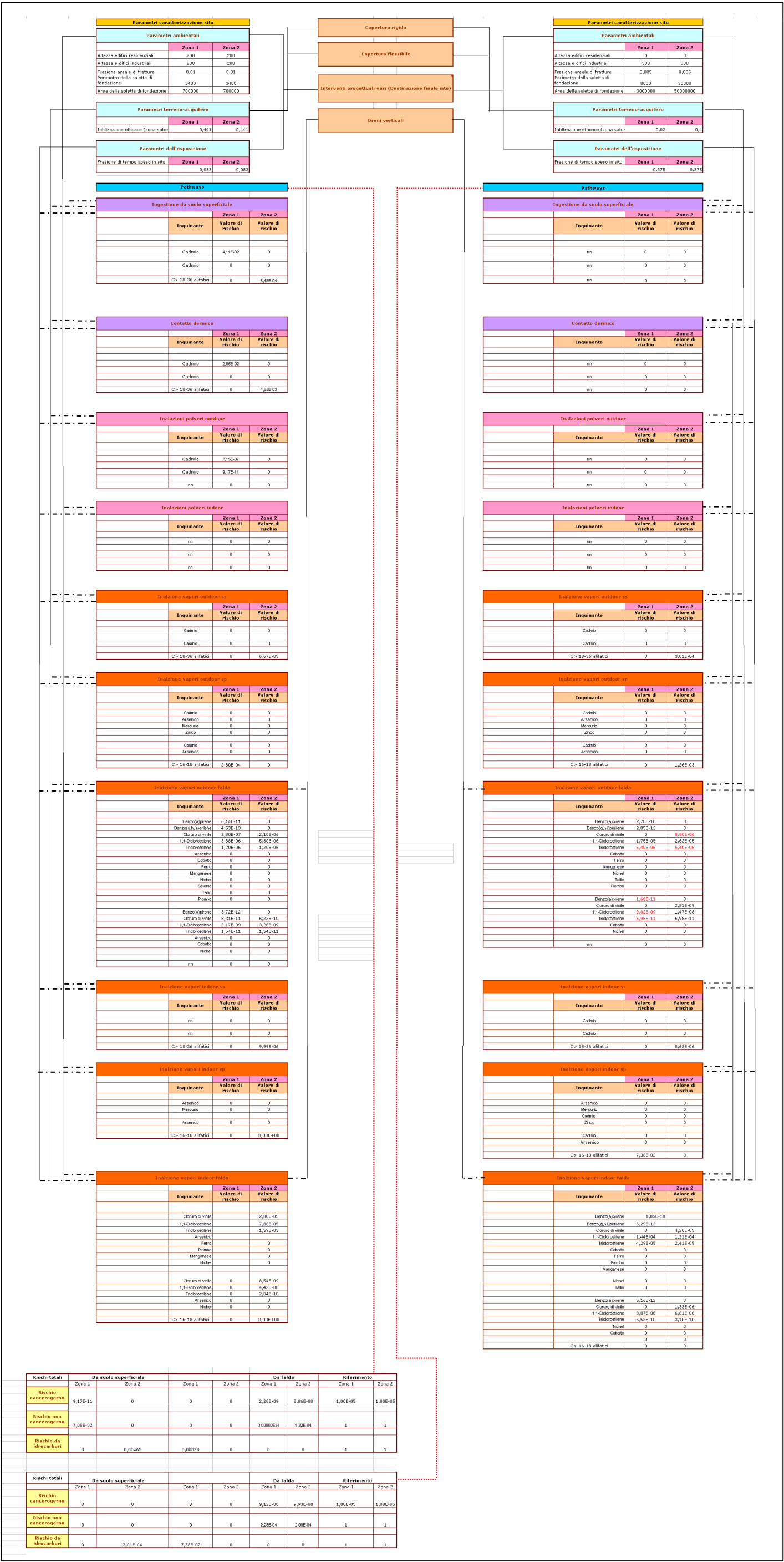
Gli indicatori rappresentativi degli impatti ambientali nel caso in esame sono pertanto due:

- danni alla salute umana;
- degradazione dell'area.

Ovviamente questi dovranno essere valutati al contrario ossia intesi come:

- riduzione dei danni alla salute umana,
- riqualificazione dell'area.

LIFE CYCLE ASSESSMENT



#### 4.9 Gli indicatori a carattere globale

Gli altri indicatori utilizzati più frequentemente nelle applicazioni della metodologia LCA, non si adattano a rappresentare il caso in esame in quanto rappresentano l'impatto di un processo e dei relativi prodotti nei confronti di fenomeni di inquinamento che interessano l'intero pianeta. Vale la pena, tuttavia soffermare l'attenzione su questi indicatori soprattutto per evidenziare il fatto che l'azione negativa apportata dallo stato di contaminazione del sito di Fusina sull'ambiente rimane a carattere prettamente locale. Di seguito, pertanto verranno descritti i principali indicatori ambientali a carattere globale e i relativi fattori di peso, utilizzati per pesare i contributi dei singoli inquinanti all'impatto cui fanno riferimento.

##### Effetto serra

L'effetto serra viene calcolato valutando la quantità di sostanze emesse durante il processo che contribuiscono al potenziale riscaldamento globale del pianeta terra. Per il calcolo dell'indicatore la quantità in massa di ciascuna sostanza viene moltiplicata per un coefficiente di standardizzazione chiamato potenziale di riscaldamento globale GWP, Global Warming Potential che omogeneizza i contributi delle varie sostanze all'effetto serra. Esso vale 1 quando "pesa" il contributo della CO<sub>2</sub>. Sommando successivamente i contributi delle si ottiene il valore aggregato dell'indicatore. Le principali sostanze che contribuiscono all'effetto serra sono riportate nella seguente tabella.

Composto chimico	Formula chimica	GWP <sub>100</sub> [kg CO <sub>2</sub> /kg gas]
Diossido di carbonio	CO <sub>2</sub>	1
Ossido di carbonio	CO	2
Metano	CH <sub>4</sub>	11
Ossido di azoto	N <sub>2</sub> O	320
CFC-11	CFCl <sub>3</sub>	4.000
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	8.500
Clorotrifluorometano (CFC-13)	CF <sub>3</sub> Cl	11.700
Tetrafluorometano (CFC-14)	CF <sub>4</sub>	9.300
HCFC-22	CHF <sub>2</sub> Cl	1.700
HCFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3400
Halon-1301	CF <sub>3</sub> Br	5.600
Diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	25
Cloroformio	CHCl <sub>3</sub>	15

Tabella 4.9.1 :Valori standard dei parametri di Global Warming Potential

### Assottigliamento della fascia di ozono stratosferico

L'indicatore relativo alla riduzione della fascia di ozono stratosferico viene calcolato come il parametro relativo all'effetto serra, ma fa riferimento a sostanze diverse. Il coefficiente di standardizzazione è, in questo caso, l' ODP Ozone Depletion Potential (Potenziale di riduzione dell'ozono) che fa riferimento al CFC-11.

Composto	Formula	ODP [g CFC11/g composto]
CFC-11	$\text{CFCl}_3$	1
CFC-12	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	0,82
CFC-113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	1,07
CFC-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	0,90
CFC-115	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	0,85
HCFC-22	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	0,04
HCFC-123	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	0,014
Halon-1301	$\text{CF}_3\text{Br}$	12,00
Halon-1211	$\text{CF}_2\text{BrCl}$	5,1
Halon-2402	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$	7,00
HC-10	$\text{CCl}_4$	1,08

Tabella 4.9.2 :Valori standard dei parametri del Ozone Depletion Potential

### Acidificazione

L'indicatore di acidificazione si riferisce alle emissioni in aria di particolari sostanze acidificanti come gli ossidi di azoto e gli ossidi di zolfo. La sostanza di riferimento è la  $\text{SO}_2$  ed il coefficiente di peso a cui si riferisce è il di potenziale di acidificazione (AP, Acidification Potential).

Formula	AP [kg $\text{SO}_2$ /kg composto]
$\text{SO}_2$	1
$\text{SO}_3$	0,80
S	2,00
$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,65
$\text{H}_2\text{S}$	1,88
$\text{NO}_2$	0,70
$\text{NO}_x$	0,70
NO	1,07
$\text{NH}_3$	1,88
HCl	0,88
$\text{HNO}_3$	0,51
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,98
HF	1,60
HCN	1,19

Tabella 4.9.3 :Valori standard dei parametri dell' Acidification Potential

### Eutrofizzazione

L'eutrofizzazione rappresenta l'aumento della concentrazione delle sostanze nutritive in ambienti acquatici. Ad opera principalmente di composti a base di fosforo e azoto. Il fattore di peso in questo caso è il potenziale di nutrizione (NP, Nutrifaction Potential) e fa riferimento al fosfato ( $\text{PO}_4$ ).



Formula	NEP [kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /kg composto]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1
NO <sub>2</sub>	1,35
NO <sub>x</sub>	1,35
NO	2,07
N <sub>2</sub> O	2,82
NH <sub>3</sub>	3,64
HCN	2,29
N	4,43
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	10,45
P	32,03

Tabella 4.9.5 :Valori standard dei parametri del Nutrifcation Potential

### Formazione di smog fotochimico (photo-smog)

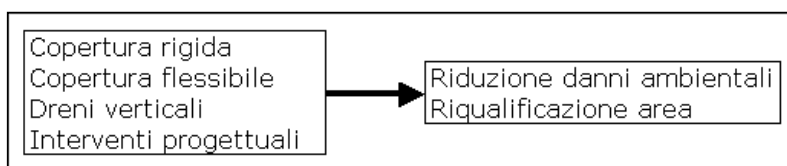
Il fenomeno del photo smog si riferisce alla presenza di sostanza volatili che in presenza di radiazione solare portano alla formazione di ozono troposferico. Il fattore di standardizzazione in questo caso è il potenziale di formazione di ozono fotochimico (POCP, Photochemical Ozone Creation Potential) e la sostanza di riferimento è l'etilene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

Gli indicatori menzionati poc'anzi non sono rappresentativi del caso studiato in questa sede, perché nessuno degli inquinanti presenti nell'area di Fusina contribuiscono all'incremento, o in questo caso alla riduzione, degli impatti ambientali relativi a questi indicatori. Questo avvale maggiormente l'ipotesi espressa nel precedente paragrafo relativa alla rappresentatività locale del caso studio.

## 4.10 Classificazione

Per classificazione si intende la valutazione delle interazioni tra un determinato indicatore di impatto e i flussi in uscita dal sistema in maniera tale da associare ad una determinata sostanza il comparto ambientale che essa influenza. Nell'LCI relativo al caso in esame come flusso uscente dal sistema, non sono state rappresentate le emissioni di sostanza inquinanti, bensì direttamente il loro impatto sull'uomo ossia il rischio che diventa un flusso in uscita del sistema. Si riassumono, ad ogni modo, gli inquinanti riscontrati nell'area in esame e la tipologia di rischio che influenzano.

Le opere relative al progetto di bonifica, quindi sono legate direttamente agli indicatori scelti sia per ciò che concerne la riduzione dei danni alla salute umana sia la riqualificazione dell'area.



#### 4.11 Caratterizzazione

Dopo la fase di classificazione è necessario caratterizzare lo stato di miglioramento delle condizioni ambientali attraverso la normalizzazione dei parametri individuati. Per normalizzazione si intende l'omogenizzazione dei dati in quanto non tutti gli indicatori agiscono allo stesso modo su un determinato parametro di impatto. La fase di caratterizzazione, quindi mira a quantificare gli impatti ambientali per ogni categoria di impatto valutata. Quest'operazione è effettuata per mezzo di una classificazione di fattori di peso che rappresentano il contributo dei fattori di "stress" alle categorie d'impatto. Per la valutazione dei fattori di peso ci si riferisce ai parametri generalmente impiegati dai ricercatori nel campo LCA, e relativi ad una serie di valori redatti da gruppi di studio afferenti alle Nazioni Unite<sup>2</sup> che possono essere consultati nelle tabelle del paragrafo precedente.

Nel caso dell'indicatore "rischio", come accennato precedentemente, i valori di riferimento che stabiliscono l'innescarsi o meno di situazioni di rischio, ossia i valori di rischio accettabili perché relativi ad una situazione di pericolo nullo, sono differenti per le tre categorie analizzate come si può vedere dalla tabella sottostante.

Parametri di rischio	Valori di riferimento
Rischio proveniente da sostanze non cancerogene	1*E-05
Rischio proveniente da sostanze cancerogene	1
Rischio proveniente da sostanze idrocarburi	1

Tabella 4.11.1: Valori di riferimento per i parametri di rischio

Per poter confrontare i tre parametri e stabilire, quindi, quale ha più incidenza sull'impatto ambientale, è necessario rendere i valori che li rappresentano omogenei tra loro, ossia utilizzare un coefficiente moltiplicativo, che equalizzi l'intensità dell'effetto sul problema ambientale considerato per ciascun parametro; questo moltiplicatore viene chiamato Fattore equivalente EQ.

In questo caso, dato che i valori dei parametri differiscono tra loro di un fattore 1\*E-05, EQ viene calcolato proprio in base a questo valore come moltiplicatore del rischio da sostanze non cancerogene come mostrato nella tabella sottostante.

---

<sup>2</sup> (Rif: Wenzel,H., Hauschild,M., Alting,L. "Environmental Assessment of Products", Chapman & Hall, 1997).

Parametri di rischio	EQ
Rischio cancerogeno	1*E05
Rischio non cancerogeno	1
Rischio da idrocarburi	1

Tabella 4.11.2: Valori del Fattore Equivalente

I parametri di rischio moltiplicati per il fattore equivalente, diventano a tutti gli effetti degli indicatori di impatto in quanto confrontabili tra loro e rappresentativi omogeneamente del caso studio.

Rischi totali	Da suolo superficiale		Da suolo profondo		Da falda		Riferimento	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Rischio cancerogeno	9,17E-06	0	0	0	2,28E-04	5,86E-03	1	1
Rischio non cancerogeno	7,05E-02	0	0	0	5,34E-06	1,32E-04	1	1
Rischio da idrocarburi	0	4,65E-3	2,8E-4	0	0	0	1	1

Tabella 4.11.3: Valori di rischio corretti con i valori di EQ

#### 4.12 Normalizzazione

La fase di normalizzazione è relativa alla possibilità di rendere confrontabili gli indicatori di impatto calcolati nella fase precedente, ad un livello di scala più alta ossia regionale o nazionale. Generalmente, infatti, come parametro di confronto viene scelto il carico medio annuale, in una nazione o in un continente, diviso per il numero degli abitanti. Nel caso in esame come si può notare anche dal precedente paragrafo, già è stata attuata la normalizzazione in quanto già sono stati scelti dei parametri di riferimento, essi sono i valori riportati nella tabella 4.11.1 che rappresentano i limiti massimi di rischio accettabile secondo il DM 471/99 fissati a  $10^{-6}$  per singole sostanze cancerogene ( $10^{-5}$  per la sommatoria di zona) e 1 per sostanze non cancerogene e idrocarburi.

#### **4.13 *Attribuzione dei pesi***

Alcuni metodi di valutazione d'impatto ambientale basati sulla metodologia LCA permettono la pesatura tra diverse categorie d'impatto. Ciò significa che i risultati delle varie categorie sono moltiplicati per dei fattori di peso e sono fra loro addizionati per ottenere un valore globale. Nel caso in esame essendo presente un solo indicatore d'impatto la fase di attribuzione pesi è irrilevante; del resto come detto più volte, il caso in esame ha una valenza prettamente locale e questo lo si vede anche dalla scelta degli indicatori di impatto. A questo punto del lavoro la fase applicativa della valutazione del ciclo di vita associata alla costruzione dei sistemi di bonifica previsti nel sito di Fusina è conclusa; per il completamento dell'analisi sarà necessario estrapolare i risultati ottenuti, valutarne le criticità e i punti di forza e confrontare i risultati ottenuti con quelli relativi all'analisi costi benefici.

### **5 Analisi Costi Benefici**

In questa fase finale del processo di valutazione del ciclo di vita della tecnologia di bonifica applicata al sito di Fusina, si valuterà la bontà del progetto proposto in relazione ad una analisi dei costi intrapresi e dei benefici ricavati dal progetto.

In relazione al caso in esame, dove la tecnologia di bonifica è stata già applicata e in base ad essa è già stata raccolta ed analizzata una serie di dati, pare irrilevante analizzare altre soluzioni di rimedio soprattutto in virtù del fatto che quella ipotizzata dalla società Fassa S.p.A. è l'unica adottabile in quanto finalizzata all'utilizzo futuro dell'area medesima. Va ricordato comunque che l'applicazione della metodologia dell'LCA permette un confronto immediato tra diverse soluzioni di rimedio perché basata sull'individuazione di una serie di parametri facilmente confrontabili e altresì perché la valutazione del rischio ambientale in essa intrinseca permette una interazione immediata con una valutazione costi-benefici che non può prescindere anch'essa da un'analisi di rischio ambientale.

La valutazione vera e propria dei costi e dei benefici ricavati dal progetto, in base a quanto esposto nel capitolo 2, è relativa alla quarta fase del processo; nelle fasi precedenti, infatti viene analizzato il problema in relazione agli impatti sull'ambiente e ai rischi che ne conseguono. Questa valutazione è già stata ampiamente trattata nei capitoli precedenti in quanto necessaria per l'analisi LCA e per la redazione del modello concettuale. Vale la pena, comunque, ricordare alcuni dei risultati ottenuti perché utili per lo sviluppo dell'analisi CBA.

La valutazione dello stato attuale di contaminazione del sito di Fusina e lo studio delle soluzioni di rimedio proposte, ha permesso di individuare i percorsi di contaminazione, che per semplicità vengono riportati di seguito, e il grado di rischio al quale sono sottoposti i ricettori, che in questo caso, sono rappresentati dai lavoratori operanti nel sito in esame. Le sorgenti di diffusione sono state assimilate all'intera superficie occupata dal sito data l'impossibilità di individuare le sorgenti primarie; i percorsi di contaminazione sono rappresentati dalle possibili modalità di contatto tra gli agenti inquinanti e i lavoratori, sia nello stato indoor che outdoor. Per ogni ricettore, infine, è stato individuato il grado di rischio a cui è sottoposto classificato in base al tipo di contaminante analizzato. Tale analisi, inoltre, è stata svolta valutando la situazione ante e post bonifica in maniera tale da permettere una valutazione immediata della bontà del progetto proposto.

Dopo questa fase della valutazione secondo l'iter procedurale descritto nel precedente capitolo, è necessario individuare il caso base, dal quale partire per redigere l'analisi costi benefici. Il caso base scelto in questa sede è il caso "no action" ossia lo stato del sito rappresentante la situazione ante-bonifica. La scelta è legata, anche in questo caso, al fatto che la soluzione di rimedio è già stata individuata. La valutazione di caso base, infatti, in generale indirizza verso una o più possibili soluzioni di rimedio perché rappresenta in maniera schematica le reti di collegamento source-pathways-receptor, per cui è permette quindi di individuare i punti su cui agire per modificare le varie soluzioni proposte. In questo caso la condizione di no action è l'unica che può essere confrontata con quella finale di rimedio, quindi è sembrata la più idonea da scegliere.

Dopo aver individuato i percorsi di contaminazione e il caso base si potrà passare alla scelta delle possibili soluzioni di rimedio. Le opzioni dovranno essere selezionate e classificate in base alla sfera d'azione dalla quale si intende partire per eliminare o ridurre il problema. Nel caso della bonifica del sito di Fusina, la soluzione di rimedio proposta, agisce sulla proprio sui pathways che legano i contaminanti con i ricettori; non è possibile infatti agire sulle sorgenti, perché non ben identificate e non è altresì possibile agire sui ricettori in quanto essendo rappresentati dai lavoratori non si può prescindere dal fatto che essi frequentino il sito in esame; l'unica soluzione rimasta pertanto è quella di combattere lo stato di contaminazione agendo sui "linkages" tra sorgente e recettore.

## 5.1 Fattibilità'

Prima di passare alla vera e propria valutazione economica del progetto di bonifica proposto, la procedura CBA prevede un'analisi di fattibilità delle soluzioni individuate. La soluzione proposta in questa sede, come specificato precedentemente, è l'unica "fattibile", le altre soluzioni, infatti presentano vincoli di vario genere come specificato di seguito:

- **Rimozione della contaminazione:** non è possibile in quanto le sorgenti secondarie si trovano a diverse profondità e con diverse concentrazioni di inquinanti pertanto un intervento del genere risulterebbe oneroso in termini temporali e soprattutto economici;
- **Protezione dei recettori:** non è attuabile in quanto i ricettori sono rappresentati dagli operai della zona che necessariamente devono frequentare il sito in esame;
- **Cambio destinazione d'uso dell'area contaminata:** non è possibile in quanto essa, secondo il P.R.G., è già stata destinata ad uso "industriale", tuttavia è possibile un isolamento fisico dell'area attraverso la conterminazione delle sponde che garantisce il contenimento dello stato di contaminazione all'interno dell'area in esame.

## 5.2 ABC

Dopo aver brevemente riassunto i concetti di rischio e di fattibilità legati alla scelta delle tecnologie di bonifica previste nel progetto, si passa alla descrizione dell'analisi costi benefici che rappresenta la parte finale del processo di valutazione delle tecnologie di bonifica e che, insieme ai risultati del LCA, fornirà tutti gli elementi necessari per poter giudicare le scelte di bonifica effettuate. Anche se il progetto è a carattere locale e non ha ripercussioni forti sull'ambiente esterno, come del resto si è potuto constatare durante la valutazione dei parametri di impatto ambientale, sarà bene effettuare oltre che un'analisi finanziaria, anche un'analisi economica del progetto stesso valutando quale sia la percezione dei rischi sul lavoro degli operai. Come descritto nel capitolo 2, infatti, l'analisi economica viene svolta qual'ora il progetto abbia ripercussioni sulla società e sull'ambiente esterno ossia apporti dei benefici che non sono immediatamente monetizzabili; in questo caso sebbene il progetto rimanga carattere locale e non si risente dei suoi benefici se non nell'area limitrofa alla zona di bonifica, avrà sicuramente delle ripercussioni sull'ambiente lagunare circostante e soprattutto sui lavoratori la cui salute sarebbe stata altrimenti a rischio.

### 5.2.1 Scelta orizzonte temporale

L'orizzonte temporale, come illustrati nel capitolo 2, rappresenta il numero massimo di anni per i quali si attuano le previsioni sull'andamento futuro del progetto. Nel caso in esame, trattandosi di progetti applicati in ambito industriale si sceglie come orizzonte temporale un valore pari a 10 anni.

### 5.2.2 Valutazione dei costi totali

Nella valutazione dei costi sostenuti per il progetto di bonifica del sito di Fusina viene presa come riferimento la stima dei costi redatta in relazione al "Progetto definitivo di bonifica del sito Fassa con misure di messa in sicurezza sotterranee dell'area ex deposito Fusina di proprietà Fassa S.p.A." Nella tabella sottostante sono state riassunte le voci rientrate nel computo metrico relative alle tecnologie di bonifica previste ricavate dall'Elenco Prezzi del Comune di Venezia LLPP 2005 e, ove non presenti, sono state utilizzate le normali tariffe di mercato. In questa stima, tuttavia, manca la valutazione dei costi relativi alla copertura rigida in quanto è rappresentata dalla costruzione di edifici ed altre strutture che non fanno propriamente parte del progetto di bonifica. Per ovviare a questa mancanza è stata assimilata a copertura rigida la posa in opera di una pavimentazione a getto la cui voce da computo è stata rilevata dal prezzario della regione Veneto consultabile online sul sito della Regione stessa. Il costo totale unitario e totale di questa pavimentazione è riportato di seguito.

TECNOLOGIA DI BONIFICA	IMPORTO LAVORI
Copertura flessibile	48960
Copertura rigida	1219664,613
Drenaggio verticale	4125,46
MNA (primo anno)	28243,918
TOTALE OPERE	1300993,991
2% come previsto da Art. 3 All. 4 – Atto Integrativo Accordo di Programma sulla Chimica	26019,87982
<b>TOTALE</b>	<b>1327013,871</b>

Tabella 5.2.2.1: Tabella riassuntiva dei costi di investimento

Altri costi che devono essere considerati sono relativi alla mano d'opera. Ricordiamo infatti, che per ciò che concerne la situazione ante operam sono solo due gli operai

che sporadicamente frequentano il sito contaminato per non più di 2 ore al giorno. Nella situazione post bonifica, invece si ipotizza un totale di 20 operai che lavoreranno 9 ore al giorno. Tali costi però non sono stati presi in considerazione perché rientrano nei flussi relativi allo svolgimento dell'attività industriale prevista nell'area in esame; se si considerassero questi costi dovrebbero essere considerati anche i ricavi relativi alla produttività del sito industriale, dato che non è a nostra disposizione. C'è da dire inoltre che in questa sede si sta valutando la bontà della tecnologia di bonifica adottata e non l'investimento dell'area come nuovo polo industriale, per cui è legittimo non prendere in considerazione dei flussi monetari menzionati sopra.

### 5.2.3 Valutazione dei benefici

La seconda parte dell'analisi costi benefici è costituita appunto dalla valutazione dei benefici, siano essi immediatamente monetizzabili o siano essi benefici sociali o ambientali ai quali non direttamente è associabile un valore monetario.

#### 5.2.3.1 Identificazione e valutazione dei benefici prontamente quantificabili

Per ciò che concerne la valutazione dei benefici monetizzabili, nel caso in esame quello che può essere associato ad un ricavo e quindi ad un beneficio è il valore monetario che il sito ha riacquisito dopo la bonifica. L'area di interesse, infatti, dopo l'esecuzione dei lavori previsti da progetto, sarà utilizzata come nuovo polo industriale per lo stoccaggio e la vendita di materiale per l'edilizia per cui verrà rivalutato il suo valore in quanto ridiventerà un'area produttiva. Consultando il rapporto annuale del 2005 della società EDISON di cui ricordiamo sono attualmente presenti due lavoratori per il controllo del metanodotto; si è constatato che il deposito costiero di Fusina, prima della dismissione, aveva un valore economico di 1.708.000 euro.<sup>3</sup>

Di conseguenza, una volta recuperato il sito, si può ipotizzare che esso acquisisca un valore pari a quello che aveva in precedenza. Si tenga presente, comunque, che il sito di Fusina era già contaminato prima dell'anno 2005, per cui, con ogni probabilità, il valore che acquisirà dopo la bonifica, sarà ancora maggiore di quello specificato sopra.

---

<sup>3</sup> Edison-Annual Report 2005-www.Edison.it



#### 5.2.4 Valutazione dei benefici non prontamente quantificabili

Per la valutazione dei benefici non monetizzabili si sono utilizzati due degli approcci elencati nel capitolo precedente, il primo è relativo alla valutazione dei benefici come costi evitati, in questo caso, trattandosi di un sistema di bonifica di un sito contaminato, i costi evitati sono rappresentati dalle spese sanitarie che in caso di contrazione di malattie da parte dei lavoratori, avrebbe dovuto sostenere l'azienda per curare i dipendenti. Il rischio a cui sarebbero stati sottoposti i lavoratori in caso di mancata bonifica e con le stesse ore lavorative che sono previste per il sito dopo la bonifica sarebbe stato molto più elevato di quello calcolato in seguito della realizzazione del progetto e nettamente al di sopra dei valori inerenti la normativa<sup>4</sup>.

##### 5.2.4.1 Patologie derivanti da contatto e ingestione di metalli pesanti

Per questo tipo di analisi sono stati consultati due medici dell'ospedale Civile di Benevento che molto gentilmente hanno messo a disposizione la loro esperienza e le loro conoscenze per fornire alcune indicazioni sui rischi provenienti dall'esposizione a metalli pesanti e sui costi relativi alle cure mediche in caso di contrazione di malattie.

I metalli pesanti (MP) si distinguono generalmente in essenziali, ossia indispensabili alle funzioni vitali e accidentali, cioè privi di ruolo biologico, e questi ultimi a loro volta si distinguono in tossici e non tossici. I principali metalli si collocano così nelle suddette categorie:

- Essenziali: ferro, zinco, rame, manganese, molibdeno, cromo e cobalto.
- Accidentali tossici: piombo, cadmio, stagno, mercurio, antimonio.
- Accidentali non tossici: zirconio, oro e titanio

La tossicità dei metalli pesanti può derivare o da una azione diretta o da un antagonismo biologico. La somministrazione di dosi tossiche di MP ha apportato numerose manifestazioni biochimiche, quali ad esempio, modificazioni del trasporto di aminoacidi, della sintesi proteica del metabolismo del glucosio nonché aberrazioni cromosomiche e modificazioni cellulari. Nella tabella seguente sono riportate alcune delle patologie più diffuse relative all'ingestione o all'inalazione e i relativi metalli pesanti che possono provocarle.

---

4 Qualsiasi MP a dosi elevate è tossico per l'organismo

Patologia	Metallo pesante
Ipertensione e tossiemia gravidica	Cadmio
Degenerazione epatica	Ferro
Ritardo mentale giovanile	Piombo
Malattie polmonari	Piombo, asbesto, silice

Tabella 5.2.4.1.1: Principali metalli pesanti e patologie ad essi associate

Per i lavoratori dei vari settori che possono venire a contatto con sostanze tossiche, oltre ai controlli dell'ambiente vanno fatti sia controlli ematici che controlli specifici relativi agli organi colpiti. Di seguito vengono riassunte le principali visite mediche a cui è necessario sottoporsi in seguito ad un qualsiasi tipo di contatto con un metallo pesante ed inoltre vengono specificate le spese da sostenere per i ricoveri ospedalieri e domiciliari relativi alla contrazione delle malattie suddette, comprese quelle cancerogene. I controlli sono considerati complessivamente per un periodo di tempo di un anno, così come il periodo relativo alle cure domiciliari in caso di contrazione di malattia viene considerato anch'esso pari ad un anno, il ricovero in ospedale, invece viene considerato pari a circa 6 mesi anche se non continuativi.

	Costo unitario €	Frequenza	TOT annuo
<b>Controlli standard relativi al possibile contatto con sostanze tossiche</b>			
Controlli bimenstrali del quantitativo di MP nel sangue e altri esami epatici	25	2/mese	150
Raggi X Torace	25	2/mese	150
Tac o RM di organi a rischio	200	1/anno	200
<b>TOTALE COSTI CONTROLLI</b>			<b>500</b>
<b>Costi da sostenere per cure ospedaliere e domiciliari</b>			
Ricoveri ospedalieri	200/die	180 die/anno	36000
Cure mediche domiciliari	2/die	365 die/anno	730
<b>TOTALE CURE MEDICHE</b>			<b>36730</b>
<b>TOTALE COSTI</b>			<b>37230</b>

Tabella 5.2.4.1.2: Stima delle spese mediche associate alla cura di malattie provocate dal contatto con sostanze tossiche

I rischi per la salute derivanti dal contatto con gli idrocarburi sono pressappoco gli stessi di quelli elencati sopra, per cui la valutazione dei costi viene fatta relativamente alle malattie provocate da metalli pesanti può essere estesa anche agli idrocarburi. Nella valutazione costi benefici verrà valutata la situazione relativa alla contrazione di malattie, ed in questo caso verranno presi in considerazione sia i costi relativi ai controlli medici sia i costi relativi al ricovero ospedaliero e alle cure domiciliari.

Un altro dei metodi di valutazione analizzati nei capitoli precedenti è relativo alla possibilità di valutazione dei benefici non monetizzabili attraverso la quantificazione della percezione del guadagno ambientale da parte delle persone coinvolte nel progetto, in questo dai lavoratori. Come esposto precedentemente, il valore economico di un bene è dato dalla somma del valore d'uso e di quello di non uso. Il primo di questi due elementi non può essere considerato in questo caso perché di fatto, non si usufruisce di un bene ambientale in quanto la bonifica del sito contaminato comporta l'utilizzo del medesimo come nuova risorsa produttiva e non come una nuova risorsa ambientale. Il bene di non uso, invece, può essere inteso come il beneficio che l'uomo, ossia il lavoratore, contrae dalla eliminazione del rischio di intossicazione da parte degli inquinanti. Esso, pertanto, può essere inteso come *valore di esistenza* e rappresentato dalla disponibilità a pagare per evitare per salvaguardare la propria salute. Il valore di lascito, che rientra nella stima del valore di non uso, è sembrato irrilevante ai fini di questa valutazione in quanto esso è generalmente riferito ad un bene ambientale rivalutato di cui possono usufruire le generazioni future, mentre, per questa valutazione ci riferisce alla salute che non è un bene ambientale e non utilizzabile da altri.

Per quantificare questo valore, è stato svolto un sondaggio su un campione rappresentativo di lavoratori, costituito principalmente da operai industriali nel settore dell'acciaio e della metallurgia, presenti nella provincia di Benevento. L'impossibilità di testare direttamente i futuri lavoratori nell'area di interesse dovuta alla mancanza di questi ultimi in quanto l'attività industriale non è attualmente attiva, ha infatti portato alla necessità di individuare un gruppo di operai sottoposti più o meno agli stessi rischi potenziali sul lavoro dovuti alla presenza di metalli pesanti e altre sostanze tossiche.

I questionari che sono stati sottoposti ai tester sono stati i seguenti:

Questionario:

1. Che risarcimento chiederebbe se contraesse una malattia sul posto di lavoro?

2. Quanto sarebbe disposto a pagare per evitare la contrazione di una malattia tra quelle elencate pur sapendo che è guaribile?
3. Quanto sarebbe disposto a pagare per evitare la contrazione di una malattia tra quelle elencate sapendo che c'è un certo rischio di mortalità?
4. Quanto sarebbe disposto a pagare per ridurre il rischio di esposizione a zero pur sapendo che è ampiamente al di sotto dei limiti normativi?

Le risposte sono rappresentate in percentuali nelle seguenti tabelle. Come si può notare la percezione del pericolo, che si trasmette poi nella disponibilità a pagare più denaro, è maggiore qualora la contrazione di malattie si presenti come concreta ed effettivamente dannosa per la salute, come nella domanda 1 e nella domanda 3. Per utilizzare questi dati nell'analisi costi benefici eseguita al caso studio e quindi per rapportare questo questionario ai potenziali lavoratori della futura area industriale, è stata calcolata la media ponderata e successivamente la somma delle quantità di denaro<sup>5</sup> che si è disposti a pagare, rispetto alle percentuali di risposte adattate per un numero di interrogati pari a 20. Per l'analisi costi benefici, si è utilizzato relativo all'indicatore media.

	<b>Fasce rappresentativa della disponibilità a pagare in risposta alla domanda n°1 (€)</b>					
<b>Percentuale di risposte</b>	fino a 100.000	50000 - 100000	10000-50000	meno di 5000	niente	non sa
75%	x					
19%		x				
0,8%			x			
0%				x		
0%					x	
5%						x
Quantificazione rispetto al numero di operai	1500000	114000	1200	0	0	0
MEDIA	323040					
SOMMA	<b>1615200 €</b>					

Tabella 5.2.4.1.3: Valutazione statistica delle risposte degli operai intervistati in base alla prima domanda del questionario

<sup>5</sup> Per ogni fascia è stato preso il valore medio, tranne che per la prima dove, al contrario è stato preso in considerazione il valore massimo.

	<b>Fasce rappresentativa della disponibilità a pagare in risposta alla domanda n°2 (€)</b>				
<b>Percentuale di risposte</b>	50000 - 10000	10000-5000	meno di 5000	niente	non sa
38%	x				
53%		x			
2%			x		
1%				x	
6%					x
Quantificazione rispetto al numero di operai	266000	79500	1200	0	0
MEDIA	86675				
SOMMA	<b>346700 €</b>				

Tabella 5.2.4.1.4: Valutazione statistica delle risposte degli operai intervistati in base alla seconda domanda del questionario

	<b>Fasce rappresentativa della disponibilità a pagare in risposta alla domanda n°3</b>					
<b>Percentuale di risposte</b>	anche 100.000	50000 - 10000	10000-5000	meno di 5000	niente	non sa
58%	x					
36%		x				
0,6%			x			
0%				x		
1%					x	
4%						x
Quantificazione rispetto al numero di operai	1160000	216000	900	0	0	
MEDIA	275380					
SOMMA	<b>1376900 €</b>					

Tabella 5.2.4.1.5: Valutazione statistica delle risposte degli operai intervistati in base alla terza domanda del questionario

	Fasce rappresentativa della disponibilità a pagare in risposta alla domanda n°4				
Percentuale di risposte	50000 - 10000	10000-5000	meno di 5000	niente	non sa
2%	x				
13%		x			
37%			x		
40%				x	
8%					x
Quantificazione rispetto al numero di operai	14000	19500	22200	0	0
MEDIA	13925				
SOMMA	55700 €				

Tabella 5.2.4.1.6: Valutazione statistica delle risposte degli operai intervistati in base alla quarta domanda del questionario

A questo punto dell'analisi si è in possesso di tutti i dati per poter calcolare gli indici di valutazione e verificare se i benefici superano i costi. L'indice utilizzato in questa sede, lo ricordiamo è il rapporto B/C definito come:

$$B/C = \frac{VAN(E)}{VAN(U)}$$

dove con E vengono rappresentate le entrate e con U le uscite. IL VAN (Valore Attuale Netto), rappresenta la somma dei benefici di un progetto (B) attualizzati, al netto dei costi (C) pure essi attualizzati. Il VAN è così calcolato:

$$VAN(S) = \sum_{t=0}^n atSt$$

dove con S sono indicati i flussi di cassa, intesi, ovviamente sia come entrate (E) che come uscite (U), mentre a è un coefficiente chiamato fattore finanziario di sconto ed è dato dalla seguente espressione calcolata in base al tasso di sconto i (scelto pari al 5%) e al periodo temporale t che, in questo caso, va da 1 a 10 anni.

$$at = (a + i)^{-t}$$

#### 5.2.4.2 Scelta del tasso di sconto

Il tasso di sconto nell'analisi economica dei progetti di investimento tenta di mostrare come i costi e i benefici futuri dovrebbero essere valutati in rapporto a quelli presenti. La letteratura e la pratica internazionale mostrano una vasta gamma di approcci nella scelta del tasso sociale di sconto da utilizzare. In genere i governi nazionali fissano un tasso di sconto sociale per i progetti pubblici ad un livello inferiore rispetto a quello delle istituzioni finanziarie internazionali. In Italia, secondo le nuove linee guida per lo studio di fattibilità<sup>6</sup>, il tasso di sconto è ora fissato al 5% e in questa sede è stato scelto proprio questo valore.

#### 5.2.4.3 Calcolo dell'indice di valutazione costi benefici

Il calcolo dell'indice B/C è stato fatto per diversi casi che differiscono in relazione alla valutazione dei benefici non monetizzabili. Il primo caso riguarda la contrazione certa di malattie da parte degli operai, situazione che comprende l'obbligo dei controlli medici nonché delle cure necessarie sia a livello ospedaliero che domiciliare. Questi valori rientrano nell'analisi CBA intesi come costi monetari evitati. Questa situazione è stata valutata sia nell'ipotesi che tutti gli operai contraggano una malattia, sia nell'ipotesi che solo il 50% degli operai può contrarre una malattia. Dall'osservazione dei risultati si può vedere come, i benefici superano i costi solo nel primo caso, ossia se le spese evitate per i trattamenti sanitari sono relativi a tutti gli operai. Nel secondo caso, infatti il parametro B/C è, anche se di poco, inferiore a 1, pertanto il progetto, nel caso in cui solo il 50% degli operai si ammalasse, non rappresenterebbe un vantaggio economico.

---

<sup>6</sup> Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome (2001) Studi di fattibilità delle opere pubbliche. Guida per la certificazione da parte dei Nuclei regionali di valutazione e verifica degli investimenti pubblici.

	Caso 1 Tutti i dipendenti contraggono una malattia									
ANNI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Flussi in ingresso</b>										
Controlli medici					10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cure ospedaliere e domiciliari					374600	374600	374600	374600	374600	374600
Costi evitati rimborso dipendenti										1821200
<b>Flussi in uscita</b>										
Valore del sito bonificato					1.708.000,00					
Copertura rigida				245.760,00						
MNA	28.243,92									
Copertura flessibile	48.960,00									
Drenaggi	4.125,46									
Totale flussi	-81.329,38	0,00	0,00	-245.760,00	-1.323.400,00	384.600,00	384.600,00	384.600,00	384.600,00	2.205.800,00
a	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,822702475	0,783526166	0,746215397	0,71068133	0,676839362	0,644608916	0,613913254
VAN(U)	-77456,6			-202187,36	-1036918,5					
VAN(E)						286994,442	273328,04	260312,419	247916,589	1354169,855
VAN(E)/VAN(U)	1,840187									
B/C	<b>1,84019</b>									

Tabella 5.2.4.3.1: Calcolo dell'indice B/C nell'ipotesi che tutti i dipendenti contraggano una malattia

	Caso 2 Il 50% dei dipendenti contrae una malattia									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Flussi in ingresso</b>										
Controlli medici					10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cure ospedaliere e domiciliari					187300	187300	187300	187300	187300	187300
Costi evitati rimborso dipendenti										910600
<b>Flussi in uscita</b>										
Valore del sito bonificato					1.708.000,00					
Copertura rigida				245.760,00						
MNA	28.243,92									
Copertura flessibile	48.960,00									
Drenaggi	4.125,46									
	-81.329,38	0,00	0,00	-245.760,00	-1.510.700,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	1.107.900,00
a	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,822702475	0,783526166	0,746215397	0,71068133	0,676839362	0,644608916	0,613913254
VAN(U)	-77456,6			-202187,36	-1183673					
VAN(E)						147228,298	140217,426	133540,406	127181,339	680154,4936
VAN(E)/VAN(U)	0,839409									
B/C	<b>0,83941</b>									

Tabella 5.2.4.3.2: Calcolo dell'indice B/C nell'ipotesi che il 50% dei dipendenti contrae una malattia

Successivamente l'analisi CBA è stata svolta considerando come flussi monetari entranti i benefici calcolati come percezione del bene guadagnato da parte dei soggetti interessati. Dal questionario utilizzato per monetizzare questi valori, per ogni domanda è stato usato l'indice indici somma come espressione dei benefici, e quindi dei "ricavi", anche in questo caso intesi come costi evitati. La somma è sembrato l'indice più appropriato in quanto esprime, grosso modo, l'ammontare che l'azienda eviterà di pagare in virtù della realizzazione del progetto di bonifica. Tra le varie domande fatte al campione rappresentativo, nell'analisi costi benefici si è scelto di utilizzare quelle rappresentative di diverse condizioni di "danno" ossia, la prima relativa alla possibilità di contrarre una malattia mortale, la seconda relativa invece alla possibilità di contrarre una malattia guaribile, la terza, infine, relativa alla percezione del danno non come contrazione di una malattia, ma come rischio di contrazione, che in questo caso, è al di sotto dei limiti normativi. Le risposte del



campione a queste domande sono state, ovviamente, diverse in quanto il danno è visto in maniera più grave qualora il rischio di mortalità aumenta. Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dell'indice B/C in relazione alle domande suddette.

	Caso 4 Percezione del bene in base alla contrazione di una malattia con rischio mortalità									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Flussi in ingresso</b>										
Controlli medici					10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cure ospedaliere e domiciliari					187300	187300	187300	187300	187300	187300
Percezione tasso di mortalità 30%										1376900
<b>Flussi in uscita</b>										
Valore del sito bonificato					1.708.000,00					
Copertura rigida				245.760,00						
MNA	28.243,92									
Copertura flessibile	48.960,00									
Drenaggi	4.125,46									
	-81.329,38	0,00	0,00	-245.760,00	-1.510.700,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	1.574.200,00
a	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,822702475	0,783526166	0,746215397	0,71068133	0,676839362	0,644608916	0,613913254
VAN(U)	-77456,6			-202187,36	-1183673					
VAN(E)						147228,298	140217,426	133540,406	127181,339	966422,2437
VAN(E)/VAN(U)	1,035039									
B/C	<b>1,03504</b>									

Tabella 5.2.4.3.2: Calcolo dell'indice B/C nell'ipotesi di rischio di malattie mortali

	Caso 5 Percezione del bene in base ad un tasso di rischio al di sotto della normativa									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Flussi in ingresso</b>										
Controlli medici					10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cure ospedaliere e domiciliari					187300	187300	187300	187300	187300	187300
Percezione rischio nullo										55700
<b>Flussi in uscita</b>										
Valore del sito bonificato					1.708.000,00					
Copertura rigida				245.760,00						
MNA	28.243,92									
Copertura flessibile	48.960,00									
Drenaggi	4.125,46									
	-81.329,38	0,00	0,00	-245.760,00	-1.510.700,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	253.000,00
a	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,822702475	0,783526166	0,746215397	0,71068133	0,676839362	0,644608916	0,613913254
VAN(U)	-77456,6			-202187,36	-1183673					
VAN(E)						147228,298	140217,426	133540,406	127181,339	155320,0531
VAN(E)/VAN(U)	0,480749									
B/C	<b>0,48075</b>									

Tabella 5.2.4.3.3: Calcolo dell'indice B/C nell'ipotesi del rispetto della normativa vigente

	Caso 3 Percezione del bene in base alla contrazione di una malattia guaribile									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Flussi in ingresso</b>										
Controlli medici					10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cure ospedaliere e domiciliari					187300	187300	187300	187300	187300	187300
Percezione malattie non gravi										346700
<b>Flussi in uscita</b>										
Valore del sito bonificato					1.708.000,00					
Copertura rigida				245.760,00						
MNA	28.243,92									
Copertura flessibile	48.960,00									
Drenaggi	4.125,46									
	-81.329,38	0,00	0,00	-245.760,00	-1.510.700,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	197.300,00	544.000,00
a	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,822702475	0,783526166	0,746215397	0,71068133	0,676839362	0,644608916	0,613913254
VAN(U)	-77456,6			-202187,36	-1183673					
VAN(E)						147228,298	140217,426	133540,406	127181,339	333968,8099
VAN(E)/VAN(U)	0,602833									
B/C	<b>0,60283</b>									

Tabella 5.2.4.3.4: Calcolo dell'indice B/C nell'ipotesi del rischio di contrazione di malattie non gravi

Come si può notare la percezione del bene "salute" e quindi i benefici che essa rappresenta, supera i costi qualora quest'ultima sia messa seriamente in pericolo, ossia quando il lavoratore vede manifestarsi un serio rischio di mortalità. Negli altri casi la disponibilità a pagare per evitare dei danni comunque risolvibili o addirittura con una probabilità di manifestarsi molto bassa (caso 4 e 5) è piuttosto irrisoria tanto da non garantire la copertura dei costi di investimento.

Si ricorda, tuttavia, che il progetto di bonifica è strettamente mirato all'utilizzo finale dell'area ed è stato pertanto concepito nell'ottica di un guadagno futuro ricavato dallo svolgimento delle attività industriali previste. In questa sede, invece, come già specificato poc'anzi, il progetto è stato inteso solo come finalizzato alla bonifica del sito, e per tanto non è stato considerato il suo pieno valore.

Concludendo è possibile affermare che, da un punto di vista economico, il progetto è vantaggioso, qualora la sua mancata realizzazione comporti un rischio di contrazione di malattie gravi per tutti i lavoratori operanti nell'area. Il risultato ottenuto con l'analisi costi benefici, quindi, esprime di fatto l'essenza di qualsiasi progetto di bonifica, ossia che il progetto stesso è valido se riesce a salvaguardare la sicurezza dell'ambiente e dei suoi abitanti, indi dell'uomo.

## **6. Conclusioni**

A conclusione del lavoro appare necessario fare alcune considerazioni relative all'utilizzo del Lyfe Cycle Assessment per gli studi di bonifica, al fine di evidenziare gli aspetti positivi e negativi dell'applicazione.

La metodologia LCA è finalizzata alla valutazione degli impatti negativi di un'attività, nel caso in esame, invece, tale metodo di studio è applicato al contrario perché valuta la riduzione degli impatti sulle matrici ambientali. Ciò, tuttavia, non ha inficiato il risultato perché di fatto il prodotto finale della valutazione è stato rappresentato, come da regola, da una serie di indicatori ambientali.

La procedura LCA, inoltre, viene utilizzata generalmente per lo studio dei processi produttivi nei quali sono ben valutabili i flussi di materia. Nel caso in esame, invece, non è stato analizzato un processo produttivo bensì un progetto di bonifica, pertanto non ci sono fasi di lavorazione o estrazioni di materie prime o produzioni di rifiuti. Nonostante ciò la redazione dell'LCI, che è il cardine dell'intero processo, ha manifestato ottimi risultati perché l'attività analizzata è stata efficacemente rappresentata attraverso uno schema boxes/frecce.

In genere, infine, data la quantità di dati necessari per il suo svolgimento, si suggerisce di utilizzare l'LCA qualora l'impatto del processo/attività analizzato sia a livello regionale o nazionale.

Per ciò che concerne l'Analisi Costi Benefici essa consta di alcune carenze non tanto legate alla metodologia, ma più che altro ai dati a disposizione. Una delle tecnologie scelte ai fini della bonifica è parte integrante del progetto di riqualificazione industriale dell'area pertanto il suo valore economico è legato ad entrambi questi fattori.

Le spese relative alla realizzazione delle nuove strutture verranno sicuramente ammortizzate con i guadagni futuri anche se nello studio eseguito in questa sede, in alcuni casi ciò non si verifica.

Un aspetto di incertezza sull'ABC è la valutazione dei benefici. La loro "monetizzazione" dipende, infatti, da dati statistici che inoltre, non si riferiscono ad un campione il loco. Più attendibile è il risultato qualora i benefici vengano valutati, invece, come costi evitati; il risultato finale si presenta più concreto in quanto ai benefici medesimi è associato direttamente un valore monetario reale anche se relativo ad un flusso in uscita.

In conclusione del lavoro si elencano quelli che, secondo la scrivente, sono i punti di forza e debolezza dell'utilizzo della metodologia del Life Cycle Assessment combinata con l'Analisi Costi Benefici per lo studio delle tecnologie di bonifica dei siti contaminati.

#### PUNTI DI FORZA

- Permette una visione sintetica e globale del sistema in esame
- Evita divagazioni e indagini inutili in quanto è strutturata in funzione degli obiettivi posti all'inizio dello studio
- Permette l'individuazione immediata dei punti critici del sistema
- Garantisce la possibilità di visualizzare rapidamente come cambia il risultato in caso di cambiamenti degli interventi
- La sua schematicità permette una continua rivisitazione critica dello studio stesso

#### PUNTI DI DEBOLEZZA

- Difficoltà nel reperire dati oggettivi e significativi
- Difficoltà di adattamento dei dati con la costituzione dell'LCI
- Difficoltà nella monetizzazione dei costi\benefici sociali e ambientali.

## BIBLIOGRAFIA

Ministero della Sanità e Dipartimento per l'Ordinamento Sanitario, - La ricerca e l'organizzazione del Ministero. - Classificazione statistica internazionale - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Libreria dello Stato

Life Cycle Assessmnet, Principles and Practies by Scientific Applications International Corporation (SAIC) - 11251 Roger Bacon Drive Reston, VA 20190 - EPA/600/R-06/060, May 2006

Life Cycle Assessmnet - An operation guide to the ISO standards - Final Report May 2001 - Ministry of Housing, Planning andEnvironment (VROM) and Centre of Environment Science - Leiden University (CML)

Metodologie, tecniche e procedure per il supporto degli interventi di valorizzazione dei siti inquinati - APAT Servizio e Dipartimento per le Emergenze Ambientali, Giugno 2004

Frankl P. and F. Rubik (1999), LCA in Industry and Business - Adoption Patterns, Applications and Implications, Heidelberg, Germany: Springer;  
[www.springer.de/cgi-bin/search\\_book.pl?isbn=3-540-66469-6&cookie=done](http://www.springer.de/cgi-bin/search_book.pl?isbn=3-540-66469-6&cookie=done)

Paolo Giandon - Contaminazione diffusa del suolo - Agenzia per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto Servizio Osservatorio Regionale Suolo e Rifiuti - 2003

B. Marc Adams, M.Sc., P.Eng. - Jacques Whitford Environment Limited, Calgary, Alberta - Cost Benefit Analysis: Remediation of Trichloroethylene in Groundwater

M. Postre, T. Fenn, A. Grosso, J. Steeds- Cost Beneft Analysis for Remediation o Land Contamination - Publishing Organization: Environmet Agency, Rio House,Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury,Bristol BS324UD.

Commissione Europea -Documento di lavoro n°4 - Orientamenti metodologici per la realizzazione delle analisi costi-benefici -2007

Unità di Valutazione, DG Politica Regionale e Coesione, Commissione Europea - Guida all'analisi costi-benefici dei progetti d'investimento, 2003

Politiche Regionali della CE, Guida all'Analisi Costi-Benefici dei Grandi Progetti - Edizione 1997

Hardisty P. E. & Ozdemiroglu E. - Costs and Benefits Associated with the Remediation of Contaminated Groundwater : Application and Example - Publishing Organisation - Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West Bristol, BS32 4UD

V. Dries - EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL ENVIRONMENT - Working Group on Contamination - Volum 4, 2004

A. SCHEIDLEDER, P.QUEVAUVILLER - EC Perspective on the WFD and Perspective on the WFD and Daughter Directive Groundwater Daughter Directive Groundwater - European Commission - DG Environment Unit B.1: Water, the Marine and Soil - Birmingham - 18 March, 2004

Winfried E.H. Blum, J. Büsing, T. de l'Escaille - EUROPEAN UNION SOIL THEMATIC STRATEGY -WORKING GROUP RESEARCH, June 2004

**<http://www.dichep.unige.it/ssp/LCA.htm>**