

Politecnico di Milano
Facoltà di architettura
Dipartimento di disegno industriale e di
tecnologia dell'architettura

ALFREDO VILLA
LAURA ZELANTE

Tesi di laurea

**La carta di identità ambientale
come strumento di qualificazione:
il caso dei pavimenti in PVC**

Relatore: Silvia Piardi
Correlatore: Luisa Morfini

anno accademico 1995-1996



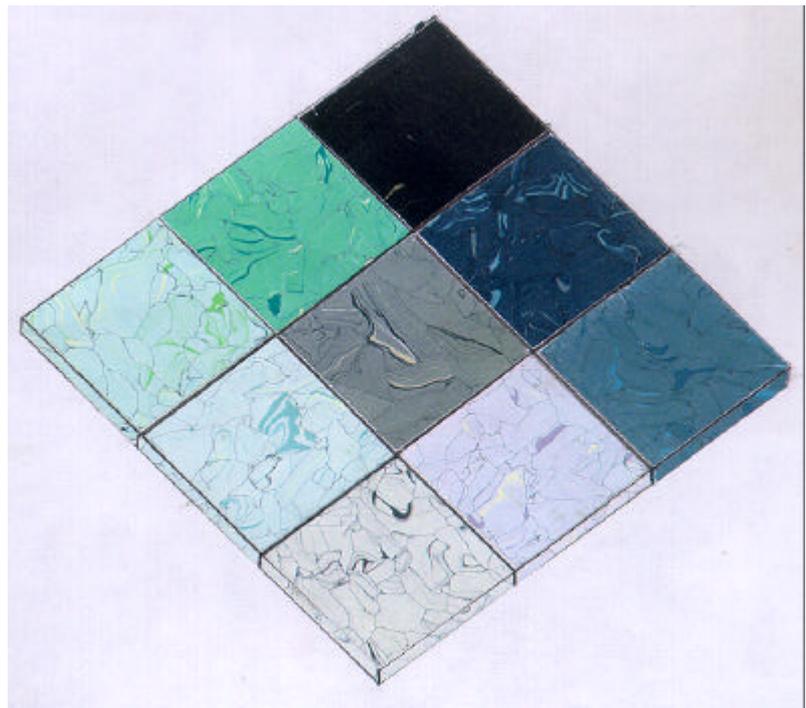
Politecnico di Milano
Facoltà di architettura

Alfredo Villa
Laura Zelante

Relatore:
arch. Silvia Piardi

Correlatore:
arch. Luisa Morfini

LA CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE COME STRUMENTO DI QUALIFICAZIONE:IL CASO DEI PAVIMENTI IN PVC.



Anno Accademico 1995/96
Sessione di laurea dicembre '96

DI. Tec.

Diartimento di Disegno Industriale e di Tecnologia
dell' Architettura

Ringraziamenti:

Si ringraziano la Prof. Silvia Piardi per la preziosa collaborazione e il CNR-ICITE per aver messo a disposizione mezzi e dati di ricerca ed in particolare l'Arch. Luisa Morfini che con paziente perseveranza ha saputo fornirci sostegno ed esperti consigli. Si ringrazia, inoltre, l'EVC nella persona dell'Ing. Costantino Giordano per la collaborazione, le informazioni e le visite tecniche.

INDICE

INDICE DELLE TAVOLE

INTRODUZIONE

PARTE PRIMA

INDAGINE SUGLI ATTUALI STRUMENTI DI LIFE CYCLE ANALYSIS E INDIVIDUAZIONE DEI PRINCIPALI PROBLEMI DI APPLICAZIONE

Capitolo 1

LA STRUTTURA PER L'ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) ED ESEMPI DI APPLICAZIONE

1.1 LA STRUTTURA DI UN'ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA)

1.1.1 Definizione della LCA

1.1.2 Le fasi dell'analisi

1.1.3 La qualità dei dati

1.1.4 La presentazione dei risultati

1.2 LE APPLICAZIONI DELLA LCA

1.2.1 La LCA per la definizione di criteri di marchi di qualità ecologica e casi studio (piastrelle ceramiche ed Ecocerto)

1.2.2 La LCA per analisi comparative: il caso olandese su 4 tipi di pavimento

Capitolo 2

LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

2.1 IL METODO DI ANALISI E DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DELLA CML (Centre of Environmental Science)

2.1.1 I fattori di classificazione ed calcolo dei punteggi d'effetto

2.1.2 La valutazione del profilo ambientale

2.2 LIMITI DI APPLICABILITA' DEI METODI DI VALUTAZIONE

Capitolo 3

ESIGENZE DI NUOVI STRUMENTI DI ANALISI AMBIENTALE

3.1 LA SPECIFICITA' DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

3.2 INPUT PER LA DEFINIZIONE DI UN NUOVO STRUMENTO DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

PARTE SECONDA

IL CICLO DI VITA DEI PAVIMENTI IN PVC

Capitolo 4

DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE OGGETTO DI STUDIO E DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI VITA

4.1 DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE PRODUTTIVE OGGETTO DI STUDIO

4.2 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI NEL CICLO DI VITA DEI PAVIMENTI E TIPI DI DATI UTILIZZATI

Capitolo 5

GLI IMPATTI AMBIENTALI DEI PAVIMENTI IN PVC NELLE DIVERSE FASI DEL CICLO DI VITA

5.1 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI PRODUZIONE DEL POLIMERO

5.2 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI PRODUZIONE DEI TELI

5.3 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI MESSA IN OPERA E UTILIZZO DEI PAVIMENTI

- 5.3.1 Fase di messa in opera: descrizione e relativi impatti
 - Scenario 1: teli o quadrotti incollati
 - Scenario 2: piastrelle autoadesive
 - Scenario 3: quadrotti autoposanti
- 5.3.2 Fase di utilizzo/manutenzione: descrizione e relativi impatti

- 5.4 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI DISMISSIONE DEI PAVIMENTI
Descrizione di tre scenari e relativi impatti
 - 5.4.1 Scenario 1: Confinamento in discarica
 - 5.4.2 Scenario 2: Incenerimento
 - 5.4.3 Scenario 3: Riciclo

Capitolo 6

INVENTARIO DEGLI IMPATTI PER UN'UNITA' FUNZIONALE DI PAVIMENTO

- 6.1 METODO UTILIZZATO PER L'INVENTARIO
- 6.2 INVENTARIO
- 6.3 RISULTATI DELL'INVENTARIO

PARTE TERZA

PROPOSTA DI UN NUOVO STRUMENTO DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Capitolo 7

LA CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE PER I PAVIMENTI IN PVC

- 7.1 ATTUALI NORMATIVE DI RIFERIMENTO PER LA QUALITA' AMBIENTALE

- 7.2 LA CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE
 - 7.2.1 La struttura della carta

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

ALLEGATO

INDICE DELLE TAVOLE PRESENTI NEL TESTO

- Tavola 1:* Quadro normativo di riferimento per i pavimenti in PVC.
- Tavola 2:* Schema di massima di un'analisi del ciclo di vita "dalla culla alla tomba".
- Tavola 3:* Schema delle quattro fasi di cui è composta l'analisi del ciclo di vita.
- Tavola 4:* Rappresentazione del sistema (prodotto o servizio) e dei suoi confini nell'analisi di inventario.
- Tavola 5:* Tabella dei principali effetti ambientali con relative sostanze-guida di riferimento e fattori di classificazione.
- Tavola 6:* Schema delle possibili applicazioni di un'analisi del ciclo di vita.
- Tavola 7:* I sistemi di etichettatura esistenti per i prodotti edilizi.
- Tavola 8:* Schema di LCA proposto dal Regolamento CEE n. 880 del 1992.
- Tavola 9:* Impatto ambientale dovuto alla produzione di energia elettrica per giungere alla manifattura della piastrella in ceramica.
- Tavola 10:* Emissioni nell'aria derivanti dal processo produttivo delle piastrelle ceramiche del Gruppo A.
- Tavola 11:* Proposta dei limiti per il consumo di energia nella produzione di piastrelle ceramiche.
- Tavola 12:* Proposta dei limiti per le emissioni gassose nella produzione di piastrelle ceramiche.
- Tavola 13:* Proposta dei limiti per i consumi di acqua e la generazione di acque reflue nella produzione di piastrelle ceramiche.
- Tavola 14:* Proposta dei limiti per i fanghi nella produzione di piastrelle ceramiche.

- Tavola 15:* Struttura della scheda di valutazione di prodotto per il rilascio del marchio Ecocerto.
- Tavola 16:* I contributi ambientali (espressi per unità funzionale) nell'intero ciclo di vita del linoleum, PVC, moquette in lana e moquette sintetica.
- Tavola 17:* Profili ambientali del linoleum, PVC, moquette in lana e moquette sintetica.
- Tavola 18:* Schema del ciclo di vita dei prodotti edilizi.
- Tavola 19:* Fasi del ciclo di vita dei pavimenti in PVC.
- Tavola 20:* Rappresentazione schematica del processo chimico che porta alla produzione della catena molecolare del polimero di cloruro di vinile (PVC).
- Tavola 21:* Rappresentazione schematica della produzione di PVC: dalla trasformazione delle materie prime alla polimerizzazione del CVM.
- Tavola 22:* Composizione-tipo del gas naturale proveniente da tre fonti diverse.
- Tavola 23:* Media dell'energia lorda necessaria per estrarre 1 kg di roccia salata.
- Tavola 24:* Media dell'energia lorda necessaria per produrre 1 kg di cloruro di sodio dai depositi salmastri.
- Tavola 25:* Valori calorici totali dei gas naturali provenienti da fonti diverse e loro composizione.
- Tavola 26:* Analisi del petrolio proveniente dal Kuwait e dei suoi derivati riferiti alle differenti soglie di distillazione.
- Tavola 27:* Schema di flusso del processo di cracking per ottenere l'etilene.
- Tavola 28:* Media dell'energia lorda richiesta per produrre 1 kg di cloro mediato tra gli output dei 14 impianti di produzione presi in esame.

- Tavola 29:* Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di cloro mediato fra gli output degli impianti di produzione presi in esame.
- Tavola 30:* Media dell'energia lorda richiesta per estrarre 1 kg di cloruro di vinile monomero.
- Tavola 31:* Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di cloruro di vinile monomero basati sulle operazioni di 10 impianti considerati.
- Tavola 32:* Media dell'energia lorda richiesta per estrarre 1 kg di PVC tramite il processo di sospensione.
- Tavola 33:* Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di PVC in sospensione basati sulle operazioni di 8 impianti considerati.
- Tavola 34:* Media dell'energia lorda richiesta per estrarre 1 kg di PVC mediato su tutti i processi di polimerizzazione.
- Tavola 35:* Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di PVC mediato fra tutti i processi di polimerizzazione.
- Tavola 36:* Rappresentazione schematica della fase di produzione dei teli in PVC-P omogeneo.
- Tavola 37:* Consumi energetici utilizzati nelle diverse tecniche per la conversione del polimero in un prodotto finale.
- Tavola 38:* Classi di emissione proposti dalla Scanvac per i materiali.
- Tavola 39:* Tassi di emissione dei VOC rilasciati dai pavimenti in PVC secondo l'esperienza condotta da S. Kirchner, P. Karpe, C. Cochet.
- Tavola 40:* Tassi di emissione dei VOC rilasciati dai pavimenti in PVC seconda l'esperienza condotta da T. Tirkkonen, M.L. Matitnen, K. Saarela.
- Tavola 41:* Tabella di confronto fra i tassi di emissione dei principali VOC ottenuti dalle due esperienze e i limiti di emissione.

- Tavola 42:* Input ed output presenti nella fase di uso e di manutenzione per i pavimenti in PVC.
- Tavola 43:* Rappresentazione schematica dei possibili scenari presenti nella fase di dismissione dei pavimenti in PVC.
- Tavola 44:* Rappresentazione schematica del ciclo del sale.
- Tavola 45:* Rappresentazione schematica della tecnologia di riciclo meccanico dei pavimenti in PVC, utilizzata in Germania.
- Tavola 46:* Risultati dell'inventario per lo scenario discarica.
- Tavola 47:* Risultati dell'inventario per lo scenario incenerimento.
- Tavola 48:* Risultati dell'inventario per lo scenario riciclo.
- Tavola 49:* Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e limiti massimi di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno (Standard di qualità).
- Tavola 50:* Valori delle concentrazioni massime nell'aria di precursori di inquinanti contenuti nella *Tavola 49* da adottarsi subordinatamente alla concorrenza di determinate condizioni.
- Tavola 51:* Valori-limite di qualità dell'aria.
- Tavola 52:* Valori-guida di qualità dell'aria.
- Tavola 53:* Struttura della Carta di Identità Ambientale per i pavimenti in PVC.

INTRODUZIONE

Nell'Introduzione vengono illustrati gli obiettivi della tesi ed il contesto problematico di riferimento. In particolare si motiva l'esigenza di elaborare un nuovo strumento di caratterizzazione ambientale per i prodotti da costruzione e di verificarne l'applicazione al caso dei pavimenti in PVC.

L'ambito tematico nel quale si inserisce la presente tesi è quello della qualità del costruire ed in particolare quello della qualità ambientale.

La tesi si propone di verificare l'applicabilità degli attuali strumenti di caratterizzazione ambientale ai prodotti da costruzione e di proporre un nuovo strumento che affronti la specificità del settore, simulandone poi l'applicazione ad un caso studio: i pavimenti in polivinilcloruro.

La caratterizzazione degli impatti dei prodotti è un primo stadio per la loro qualificazione ambientale che oggi diventa una parte importante del più generale problema della qualità. Di seguito si delineano brevemente gli aspetti di qualità in edilizia, si introducono i principali ambiti di qualificazione ambientale esistenti per poi definire più in dettaglio gli obiettivi della tesi.

LA QUALITA' IN EDILIZIA

Il concetto di "qualità" è ormai connaturato con il nostro modello di società avanzata, nella quale la produzione industriale è chiamata a fornire prodotti aventi requisiti sempre più elevati, con un grado di affidabilità sempre più alto,

destinati ad utilizzatori che hanno esigenze sempre più complesse. Anche l'industria delle costruzioni è coinvolta in questa ricerca della qualità e viene chiamata a rivedere il processo costruttivo e le fasi che lo compongono.

L'importanza della qualità, quale fattore di competitività e di efficienza produttiva, è oggi riconosciuta in tutti i Paesi Europei tanto che la mancanza di garanzia di "qualità" per un prodotto è da tempo il primo motivo di difficoltà alla sua circolazione commerciale.

Per i prodotti da costruzione in particolare si osserva una richiesta insistita di "certificazione di qualità" che a volte nasconde un vero e proprio ostacolo allo scambio, una sorta di barriera tecnica interposta dal Paese importatore all'interno delle procedure internazionali di negoziazione commerciale.

Anche per ovviare a questo protezionismo commerciale, ma soprattutto per tutelare l'interesse dei consumatori europei, i Paesi della UE (Unione Europea) sono da tempo impegnati nel concordare norme comunitarie in grado di garantire la qualità dei prodotti all'origine, con tecniche codificate, ripetibili e controllabili, che siano sufficienti a garantire le prestazioni tecniche minime che un prodotto deve possedere per essere qualitativamente idoneo all'impiego per il quale è stato concepito.

Di seguito si specifica che cosa si intende per "qualità in edilizia".

Ai sensi della norma ISO 8402, norma adottata anche in Italia come norma UNI, si intende per "qualità" l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite.

La definizione fa espresso riferimento alle "esigenze" dell'utenza alla quale è destinato il bene edilizio e invita ad operare all'interno della normativa prestazionale, con un atteggiamento che sembra indurre, nella pratica corrente, alla sostituzione della normativa tecnica descrittiva.

Il ricorso alla normativa prestazionale comporta un approccio alla codificazione della qualità di un prodotto edilizio che si propone di definirne i requisiti in

termini quantitativi, numerici, tra loro confrontabili e stabilendo una relazione diretta tra le esigenze espresse dall'utenza (o implicite nelle funzioni basilari dell'oggetto) e le prestazioni che l'oggetto edilizio sarà in grado di assicurare attraverso le sue caratteristiche.

Per realizzare edifici di buona qualità, tali cioè da rispondere in modo adeguato alle esigenze dell'utenza, compatibilmente con le risorse tecniche, economiche e umane disponibili, occorre procedere alla scelta dei materiali da impiegare e alla costruzione delle singole parti costituenti l'edificio secondo precise regole, che si possono formulare con questa sequenza operativa:

- 1) individuare quali esigenze dell'utenza devono essere soddisfatte dall'opera edilizia;
- 2) tradurre in termini tecnici, o requisiti, tali esigenze;
- 3) stabilire quali prestazioni debbano offrire le singole parti dell'edificio per rispondere ai requisiti richiesti;
- 4) scegliere infine i materiali più appropriati: quelli, cioè, che posseggono le proprietà necessarie per realizzare parti di un edificio in grado di fornire le prestazioni volute.

In sintesi, si può dunque dire che occorre scegliere materiali in possesso delle caratteristiche necessarie per realizzare elementi edilizi le cui prestazioni corrispondano al miglior grado di soddisfacimento delle esigenze dell'utente, espresse in requisiti.

A titolo informativo ed esemplificativo è stata compilata una scheda che illustra l'attuale quadro normativo relativo alle pavimentazioni in PVC; la scheda (tavola 1) è stata strutturata secondo un quadro di relazione tra esigenze, requisiti e prestazioni. In appendice alla tesi è allegato l'elenco di tutte le norme riguardanti i pavimenti in PVC.

ESIGENZE	REQUISITI	PRESTAZIONI	NORME ITALIANE	TITOLO	ALTRI RIFERIMENTI	
BENESSERE	ISOLAMENTO TERMICO	TRASMITTANZA TERMICA			DIN 52612	
	ISOLAMENTO ACUSTICO	POTERE FONOISOLANTE AL CALPESTIO	UNI 8437	Edilizia. Pavimentazioni. Classificazione in base all'isolamento dal rumore di calpestio.	DIN 52210	
	TENUTA ALL'ACQUA	COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO D'ACQUA	UNI 8298/5	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione del comportamento all'acqua.	Guida tecnica UEAtc	
	ASETTICITA'	RESISTENZA AGLI AGENTI BIOLOGICI				
SICUREZZA	COMPORAMENTO AL FUOCO	REAZIONE AL FUOCO	UNI 8298/11	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Preparazione dei provini per la determinazione della reazione al fuoco e della non combustibilità.	D.M. 26/06/84 ISO/DIS 1182.2 CSE RF 2/75/A CSE RF 3/77	
	NON SCIVOLOSITA'	COEFFICIENTE D'ATTRITO	UNI 8298/16	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza allo scivolamento.	Guida tecnica UEAtc	
	RESISTENZA MECCANICA	RESISTENZA AGLI URTI				
			RESISTENZA ALL'ABRASIONE	UNI 8298/7	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza alla bruciatura da sigaretta.	Guida tecnica UEAtc
			UNI 8298/9	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza all'abrasione.		
		RESISTENZA ALL'IMPRONTA		UNI 5574-72	Pavimenti vinilici. Metodi di prova.	Guida tecnica UEAtc
				UNI 5571-72	Pavimenti vinilici. Pavimenti vinilici omogenei. Prescrizioni.	
				UNI 8298/2	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza a punzonamento dinamico.	
			UNI 8298/3	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza a punzonamento statico.		
			UNI EN 433	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione dell'impronta residua dopo l'applicazione di un carico statico.		
ELIMINAZIONE DELLE CARICHE ELETTROSTATICHE	RESISTENZA ELETTRICA	UNI 8298/10	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza elettrica.	DIN 51953 CEI 64-4.3.4.02		

ESIGENZE	REQUISITI	PRESTAZIONI	NORME ITALIANE	TITOLO	ALTRI RIFERIMENTI
ECONOMICITA'	DURABILITA'/ MANUTENIBILITA'	RESISTENZA AGLI AGENTI CHIMICI	UNI 5574-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Metodi di prova.	Guida tecnica UEAtc DIN 53958
			UNI 7071-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Pavimenti vinilici omogenei. Prescrizioni.	
			UNI 8298/4	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza agli agenti chimici.	
			UNI 8298/14	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della lavabilità e della resistenza al lavaggio.	
			UNI EN 423	Edilizia. Rivestimenti resili per pavimentazioni. Determinazione della macchiabilità.	
	RESISTENZA MECCANICA	RESISTENZA ALL'USURA			DIN 51963
	SOLIDITA (ALLA LUCE) DEL COLORE	STABILITA' D'ASPETTO	UNI 5574-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Metodi di prova.	Guida tecnica UEAtc
			UNI 7071-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Pavimenti vinilici omogenei. Prescrizioni.	
			UNI 6063-67 sostituita parzialmente da UNI ISO 4582 e 4892	Materie plastiche. Determinazione della variazione di proprietà per esposizione sotto vetro alla luce naturale.	
	ADESIONE DEGLI STRATI	ADERENZA	UNI 5574-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Metodi di prova.	Guida tecnica UEAtc
UNI 7071-72			Edilizia. Pavimenti vinilici. Pavimenti vinilici omogenei. Prescrizioni.		
PERDITA DI SOSTANZE VOLATILI	PERDITA DI MASSA	UNI 5574-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Metodi di prova.	Guida tecnica UEAtc	
		UNI 7071-72	Edilizia. Pavimenti vinilici. Pavimenti vinilici omogenei. Prescrizioni.		

Tavola 1: Quadro normativo di riferimento per i pavimenti in PVC.
(fonte: Nostra elaborazione)

Per controllare la qualità di un prodotto edilizio esistono diverse tipologie certificative.

In ambito europeo esiste una tendenza al controllo delle procedure di fabbricazione, ma la pratica più comune rimane quella di controllare i prodotti finiti.

Il controllo della qualità di un prodotto edilizio dà luogo a varie forme di qualificazione del prodotto che sono:

- l'omologazione,
- la certificazione di conformità,
- l'agrément tecnico,
- il marchio di qualità ecologica,
- l'autocertificazione.

L'omologazione attesta che il prodotto è dotato di determinate caratteristiche, in genere fissate da norme o prescrizioni, che sono state oggetto di verifica da parte dell'Ente che fornisce l'omologazione o da Enti di fiducia di quest'ultimo.

La certificazione di conformità è un'attestazione effettuata da un'istituzione, possibilmente neutrale, che ha eseguito una sequenza di prove previste in un disposto normativo di tipo consensuale su un determinato prodotto ottenendo determinati risultati.

L'Agrément tecnico (Certificato di idoneità tecnica) è un accertamento complesso contenente il resoconto di più prove e di indagini, che porta alla formazione di un giudizio tecnico sull'idoneità all'impiego dei materiali, componenti, sistemi.

Esso viene formulato sulla base delle esigenze di sicurezza, di posa in opera e di durabilità e viene rilasciato sulla base di documenti-guida chiamati Guide tecniche, elaborate congiuntamente da vari Istituti a livello europeo aderenti all'Union Europeenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc), Organizzazione Internazionale in cui l'Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la

Tecnologia Edilizia (ICITE) rappresenta l'Italia. Le Guide tecniche costituiscono il punto di riferimento dei singoli Istituti per rilasciare il certificato che, proprio perchè ciò avviene secondo una metodologia condivisa, può godere del riconoscimento reciproco nei diversi Paesi.

Esse sono generalmente costituite da una prima parte che fornisce la definizione terminologica e funzionale dell'oggetto e da una seconda parte che esplica i requisiti, le metodologie delle prove di laboratorio da effettuare e delle verifiche da condurre.

Le Guide tecniche attualmente esistenti riguardano un certo numero di materiali, componenti, sistemi, ma i Certificati di Idoneità Tecnica possono essere rilasciati anche sulla base di un dossier tecnico di volta in volta appositamente predisposto per quei prodotti che non possono ancora contare su una Guida tecnica ufficialmente emanata.

I marchi di qualità intendono attestare la rispondenza a norme e/o specifiche proprie dell'oggetto "marchiato".

L'autocertificazione è sostanzialmente una dichiarazione che l'imprenditore-produttore è chiamato a rilasciare e si fonda sull'esistenza di una struttura di autocontrollo della qualità della propria produzione. E' una forma di controllo poco praticata dai produttori nazionali, che preferiscono riferirsi a laboratori esterni (Cerruti C., 1995).

In particolare l'evoluzione della certificazione di prodotto nel campo delle costruzioni è legata dal 1989 all'evoluzione della Direttiva Comunitaria 89/106 ("relativa al riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione"), recepita in Italia con il Decreto Presidenziale n. 246 del 21 aprile 1993.

La particolare complessità del settore delle costruzioni, dovuta da una parte a consuetudini d'impiego dei singoli materiali

estremamente diverse da Paese a Paese, e dall'altra alla continua evoluzione tecnologica che genera nuovi prodotti, ha suggerito di impostare la Direttiva , e conseguentemente il relativo Decreto di attuazione , secondo una filosofia esigenziale-prestazionale.

Sono stati infatti individuati sei requisiti essenziali (1. resistenza meccanica e stabilità, 2. sicurezza in caso di incendio, 3. igiene-salute-ambiente, 4. sicurezza di utilizzazione, 5. protezione contro il rumore, 6. risparmio energetico e isolamento termico) che le opere edili devono possedere.

LA QUALITA' AMBIENTALE

Come accennato, all'interno del discorso sulla qualità, di recente è andata sempre più crescendo una maggiore attenzione per la qualità ambientale.

In particolare in edilizia in questi anni si sta assistendo ad una graduale sensibilizzazione da parte dell'opinione pubblica verso i temi di salubrità degli edifici e della salvaguardia dell'ambiente, data la crescente inquietudine per le problematiche che minacciano sia il macro che il micro-ambiente: dal riscaldamento dell'ambiente del pianeta provocato dall'effetto serra al disboscamento scriteriato, dalla distruzione della fascia di ozono allo smog dei centri urbani e all'inquinamento degli ambienti interni, solo per citare alcuni esempi. Problemi legati all'urbanistica, all'ecologia e all'edilizia.

Nell'affrontare la questione della qualità ambientale dell'architettura occorre tener presente che un edificio può essere considerato, oltre che per il suo rapporto diretto con l'ambiente, anche come il risultato dell'assemblaggio di diversi componenti, ciascuno con un suo specifico impatto sull'ambiente in momenti anche lontani dalla vita dell'edificio.

Ed è proprio questo secondo approccio che oggi risulta essere diffuso nel settore scientifico, in quanto consente di valutare l'impatto globale sull'ambiente.

Tutto ciò giustifica la pressante domanda di prodotti "puliti" che permettano un "fare architettura" più attento alla salvaguardia dell'ambiente e alla salute degli abitanti.

A dimostrazione della maggior attenzione del controllo della qualità ambientale si inserisce anche il fatto che la già citata Direttiva colloca, nel contesto dei sei requisiti essenziali che i materiali da costruzione dovranno garantire per avere libera circolazione nel mercato europeo, quello che viene titolato come "igiene, salute e ambiente" la cui specificità indica che l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non provocare alcun danno alla salute in generale, ed in particolare in modo da non provocare sviluppo di gas tossici, presenza di particelle o di gas pericolosi nell'aria, accumulo pericoloso di tali particelle o di tali gas, emissioni di radiazioni pericolose, inquinamento o tossicità dell'acqua e del suolo, difetti nello scarico delle acque luride, dei fumi e dei rifiuti solidi o liquidi, formazione di umidità sulle pareti.

Fatto innovativo, nel documento interpretativo del requisito "igiene, salute e ambiente" della Direttiva, si raccomanda di prendere in considerazione anche gli impatti precedenti e successivi alla vita dell'edificio.

Quindi la considerazione degli aspetti ambientali globali è ormai sempre più presente e diventerà un riferimento obbligato per la produzione che voglia riferirsi al contesto europeo.

Un altro importante strumento di valutazione della qualità ambientale è il Regolamento comunitario n. 880/92 (G.U. CE L.99 dell'11/04/1992) concernente il sistema di assegnazione dei marchi di qualità ecologica (Ecolabel). Il Regolamento CEE tiene conto dell'importanza di promuovere la concezione, la produzione, la

commercializzazione e l'uso di prodotti che abbiano un minore impatto ambientale e ha il merito di considerare l'intero ciclo di vita del prodotto.

L'orientamento che prevede di analizzare gli impatti ambientali di un prodotto considerandone tutto il ciclo di vita è oggi quello condiviso nelle principali sedi di ricerca e valutazione perchè rappresenta la possibilità di indagare gli impatti complessivi.

Il Marchio di Qualità Ecologica o Ecolabel non è che, in sintesi, un riconoscimento rilasciato dalla massima Istituzione europea a quei prodotti di uso comune, presenti sul mercato, che si distinguono per un minore impatto complessivo nei confronti dell'ambiente.

La Direttiva 106/89 ed il Regolamento CEE 880/92 rappresentano per ora gli unici strumenti di "qualificazione ambientale" disponibili, ma si tratta di strumenti non ancora operativi sul piano ufficiale per ragioni di tempo e di carattere procedurale. Inoltre, senza nulla togliere al loro valore generale, non rispondono pienamente alle esigenze di valutazione dell'impatto ambientale dei prodotti: la Direttiva 106/89 considera solo alcuni degli impatti del ciclo di vita; il Regolamento CEE, che pure prevede la valutazione di tutte le fasi di vita, non si dimostra particolarmente adatto alla specificità dei prodotti da costruzione; nel suo ambito inoltre sono stati fin qui prodotti i criteri di attribuzione di Ecolabel ad una sola categoria di prodotti da costruzione: le piastrelle ceramiche.

GLI OBIETTIVI DELLA TESI

L'individuazione di questo contesto problematico ha portato a formulare l'obiettivo della presente tesi: definire un nuovo strumento di qualificazione ambientale per i prodotti da costruzione che parta dalla considerazione degli impatti ambientali in tutto il ciclo di vita per poi studiarne l'applicabilità ad un caso di prodotto: i pavimenti in polivinilcloruro (PVC).

La messa a punto di strumenti che consentano di ridurre l'impatto dell'edilizia nei confronti dell'ambiente è un passaggio obbligato nella direzione della qualità.

Nel settore delle costruzioni mancano infatti ancora gli strumenti per garantire un consapevole rispetto per l'ambiente, contrariamente a quanto avviene in altri settori; per rendere concreta l'idea di qualità ambientale occorre passare da valutazioni teoriche ad azioni e strumenti che consentano di raggiungere effettivamente una migliore qualità dell'ambiente o, per lo meno, di ridurre l'impatto del costruito. La scelta di occuparsi della qualità ambientale del PVC, ed in particolare di quella dei pavimenti, deriva dalla considerazione che di fatto il PVC, come altre materie plastiche, rappresenta un materiale molto diffuso in edilizia. Si tenga presente che:

- ogni anno vengono prodotte nel mondo circa 15 milioni di tonnellate di PVC e si stima che la produzione di PVC in Europa nel 1995 sia stata intorno a 5.349 chilotonnellate;
- è l'edilizia il principale settore in Europa cui vengono destinati i prodotti in PVC, col 53%, mentre praticamente la metà degli utilizzi si divide fra industrie di imballaggio (16%), cavi elettrici (9%), prodotti per il tempo libero (4%), per i trasporti (3%), e le rimanenti quantità spartite in altre voci;
- in Italia le pavimentazioni in PVC totalizzano circa una superficie di 8.200.000 mq.

Il PVC risulta essere un materiale che ha un vastissimo campo di applicazione perché ha delle alte qualità, a cominciare dal basso costo, e delle elevate prestazioni di tipo tecnologico.

Il maggior problema che è emerso con il PVC è stato quello del cloruro di vinile monomero (CVM). Scoperta a metà degli anni '70 un'evidente correlazione tra l'esposizione al CVM in elevate concentrazioni e l'insorgenza dell'angiosarcoma al fegato (un tumore che raramente si manifesta per cause naturali), le autorità, a livello

sia internazionale sia nazionale, hanno cominciato ad emanare provvedimenti legislativi per regolamentare la concentrazione massima di CVM negli ambienti di lavoro ¹.

Anche se il PVC viene, in numerose occasioni, condannato perché ritenuto responsabile di emissioni nocive sia in fase di produzione sia in fase di utilizzo in ambienti confinati, in ogni caso esso viene ancora molto utilizzato.

A questo punto risulta essere molto più realistico, nei paesi in cui non ne è vietata la produzione, indagare la sua effettiva nocività, in tutte le fasi di vita, in modo da capire l'entità del problema inventariandone gli impatti nocivi, confrontandoli con parametri di accettabilità e con limiti da non superare.

Per raggiungere tale obiettivo la tesi è strutturata secondo le suddette tre parti.

1) Indagine sugli attuali strumenti Life Cycle Analysis e individuazione dei principali problemi di applicazione. In questa fase si individueranno le difficoltà di applicare i metodi esistenti nell'attuale sistema di regolamentazione degli impatti ambientali, ed in particolare nel caso dei prodotti da costruzione che presentano alcune specificità. Da questa fase emergerà l'esigenza di alcuni approfondimenti da utilizzare come base per il nuovo strumento di caratterizzazione.

¹ Nel giugno del 1978 la Comunità Europea ha emanato la direttiva n. 610/78 che ha fissato in 3 ppm il limite per la concentrazione media di CVM nei luoghi di produzione. Tale limite è stato recepito nel 1982 dal quadro legislativo italiano con il DPR 962/82, il quale prescrive che la concentrazione media di CVM negli ambienti di lavoro sia inferiore, come media annuale, a 3 ppm e che il numero delle analisi in cui venga superato il valore di 7,9 ppm sia inferiore al 5% del totale dei campionamenti effettuati. Il limite massimo di concentrazione media annua di 3 ppm è ritenuto adeguato per proteggere contro il pericolo di angiosarcoma al fegato e per tutelare, in termini generali, la salute dei lavoratori addetti alla produzione di CVM e PVC. Dal 1974 tutti i casi di morte per angiosarcoma connessi con l'esposizione al CVM vengono classificati in un unico registro mondiale, costituito presso l'APME. I casi accertati sino ad ora sono 184 e tutti sono stati collegati ad esposizioni al CVM prima del 1974, prima cioè della drastica riduzione del monomero nei luoghi di lavoro. Tuttavia, scorrendo la letteratura medica sull'argomento, si può ricavare che il periodo di latenza dell'angiosarcoma può estendersi fino a 30 anni: dunque, entro il primo decennio del nuovo secolo non sarebbe sorprendente registrare nuovi decessi legati ai vecchi valori di concentrazione del CVM. Il rischio sarebbe comunque limitato a vecchie esposizioni, dal momento che attualmente il processo di polimerizzazione avviene in sistemi chiusi protetti.

- 2) Descrizione del ciclo di vita dei pavimenti in PVC: per ogni fase del ciclo di vita dei pavimenti in PVC (produzione del polimero, produzione dei teli, messa in opera e utilizzo dei pavimenti, dismissione dei pavimenti) saranno descritti i principali impatti ambientali (materiali ed energia utilizzati durante la vita del prodotto ed emissioni generate) e sarà elaborato un inventario su basi statistiche.
- 3) Definizione di una Carta di Identità Ambientale come strumento di caratterizzazione dei pavimenti in PVC.

PARTE PRIMA

INDAGINE SUGLI ATTUALI STRUMENTI
DI LIFE CYCLE ANALYSIS E
INDIVIDUAZIONE DEI PRINCIPALI
PROBLEMI DI APPLICAZIONE

Capitolo 1

LA STRUTTURA PER L'ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) ED ESEMPI DI APPLICAZIONI

Il Capitolo illustra nel dettaglio la struttura di una LCA e le sue applicazioni. Infatti attraverso la stima degli impatti ambientali che un prodotto può generare durante la sua vita (approccio definito “dalla culla alla tomba”), la LCA ne valuta la “qualità ecologica”.

Nel Capitolo vengono inoltre descritte le principali applicazioni della LCA: sono illustrati brevemente i marchi ecologici (Angelo Blu, NF-Environnement, Regolamento CEE 880/92), vengono analizzati due studi che applicano la LCA per la definizione di criteri di etichettatura ecologica (Ecolabel) al settore dei prodotti da costruzione (piastrelle ceramiche ed Ecocerto), e viene illustrato uno studio di ecobilancio comparativo tra pavimenti.

1.1 LA STRUTTURA DI UN'ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA)

1.1.1 DEFINIZIONE DELLA LCA

L'Analisi del Ciclo di Vita (abbreviato con l'acronimo LCA, Life Cycle Analysis) costituisce uno specifico strumento di valutazione ambientale, che ha trovato la sua maggiore applicazione al campo dei prodotti industriali e dei servizi.

A livello internazionale sono stati elaborati numerosi contributi sull'analisi del ciclo di vita che il più delle volte fanno riferimento agli studi compiuti dalla Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), un organismo scientifico internazionale leader nel coordinamento dello sviluppo di metodi di analisi dell'impatto ambientale. Nel 1993 la SETAC ha pubblicato, in

occasione di un workshop internazionale, un Codice di Pratica che fornisce linee guida sui processi e sugli aspetti metodologici di riferimento per condurre uno studio di analisi del ciclo di vita.

Un altro strumento metodologico di riferimento è costituito da una guida elaborata presso il Centre of Environmental Science (CML) dell'Università di Lieden (Olanda) che ha operato prevalentemente sui sistemi di classificazione degli impatti ambientali.

La definizione di LCA più correntemente usata è la seguente :

<<Una LCA è un processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali connesso con un prodotto, un processo o una attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente, per valutare l'impatto di questi usi di energia e di materiali e dei rilasci nell'ambiente e per valutare e realizzare le opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale>> (SETAC, 1993).

Si tratta in sintesi di una valutazione dei consumi di energia e di materie prime e dell'inquinamento in acqua, aria e suolo che un ben determinato prodotto genera in tutta la sua esistenza ("dalla culla alla tomba").

L'idea di analizzare il ciclo di vita di un prodotto, per valutare la totalità dei suoi impatti sull'ambiente, fu applicata per la prima volta in forma semplificata alla fine degli anni '60 per diversi contenitori di bevande alla Coca-Cola Company. Il concetto di LCA è da attribuirsi ad Harry Teasley che lo applicò per comparare i differenti contenitori al fine di determinare quale producesse il minore impatto sulle risorse: i principali aspetti considerati furono gli scarichi legati alla produzione e il consumo di risorse ed il risultato fu il computo di ciò che creava carico sull'ambiente; non fu eseguita alcuna valutazione qualitativa degli effetti, essendo i parametri correlati difficili da quantificare in modo

obiettivo; inoltre non furono considerati gli effetti sulla salute umana e furono omessi tutti gli elementi su cui allora non si avevano sufficienti conoscenze e che non erano quantificabili (la deforestazione, l'effetto serra, etc.).

Questo studio consolidò negli Stati Uniti un approccio conosciuto come "Analisi del Profilo sulle Risorse e sull'Ambiente" (REPA, Resource and Environmental Profile Analysis).

Nel tempo il concetto di ciclo di vita ebbe una maggiore diffusione e vennero condotti molti altri studi; in particolare negli Stati Uniti le procedure di ricerca vennero ulteriormente sviluppate con il contributo dell'EPA (Environmental Protection Agency, l'ente USA per la Protezione Ambientale). Dopo il 1975 l'interesse per l'applicazione di questi studi nella loro interezza diminuì perché il problema del risparmio energetico divenne la questione importante. Comunque l'impostazione dominante nel Nord America è rimasta fino agli anni '90 quella della REPA. Anche in Europa, nella prima metà degli anni '70, furono prodotti alcuni bilanci energetici e di materiali applicati ai prodotti, in primo luogo agli imballaggi, ma lo sviluppo europeo della pratica della LCA è avvenuto soprattutto dagli anni '80.

Un elemento essenziale e caratteristico del contributo europeo alla LCA è stata l'attenzione alla valutazione degli impatti ambientali, attraverso la generazione di vari sistemi di attribuzione e di quantificazione degli impatti sia all'interno di ciascuna categoria di emissione sia globalmente.

Nel tempo sono stati messi appunto diversi metodi di LCA, ma tutti hanno più o meno in comune il fatto di operare per diagrammi che individuano le diverse fasi di vita del prodotto e per ciascuna di esse quantificano flussi di materiali, energia, emissioni, etc. Uno schema generale può essere quello riportato nella tavola 2, ma effettivamente per ogni prodotto è definibile un diagramma particolareggiato in cui ad ogni blocco del diagramma corrisponde una base di raccolta dati da cui ottenere informazioni complete.



Tavola 2: Schema di massima di un'analisi del ciclo di vita "dalla culla alla tomba".
(Fonte: Morfini L., 1993)

L'approccio "Cradle to Grave", dalla culla alla tomba, si è imposto come il sistema più completo e accettabile di analisi del ciclo di vita. Esso dovrebbe includere i quattro macro-stadi del ciclo di vita (al cui interno sono sempre ricomprese le operazioni di trasporto) che sono:

- l'acquisizione di materie prime, che comprende tutte le operazioni di estrazione dall'ambiente e reperimento delle materie prime e delle fonti energetiche;
- la produzione, che include tutte le operazioni di trasformazione delle materie prime e si esplica in almeno tre sotto-fasi distinte: la manifattura del materiale di base, la fabbricazione del prodotto finito pronto all'uso, la distribuzione (incluso l'eventuale riempimento e imballo);
- l'uso/riuso/manutenzione, che comincia dopo la distribuzione del prodotto e include sia l'utilizzo sia ogni operazione con cui il prodotto viene mantenuto o trattato per allungarne la durata di vita;
- il riciclo/smaltimento che comincia alla fine della vita utile e include le operazioni dirette a reintrodurre in nuove attività economiche il prodotto (riciclo) o a sottoporlo ai processi di smaltimento e ad immetterlo nell'ambiente.

Quindi si può affermare che la LCA, valutando gli impatti ambientali dei prodotti lungo la loro vita, risulta essere uno strumento fondamentale di supporto a

strategie di miglioramento della qualità ambientale. Di seguito verrà descritta nel dettaglio la struttura di una LCA.

1.1.2 LE FASI DELL'ANALISI

La descrizione della struttura di una LCA viene fatta basandosi sul “Codice di Pratica” pubblicato dalla SETAC, integrando alcune parti con uno studio svolto da AMBIENTE ITALIA e con quello elaborato dalla CML.

La SETAC individua le seguenti 4 fasi principali per l'analisi di ciclo di vita dei prodotti industriali:

- *definizione degli obiettivi*, fase nella quale si definiscono le finalità degli studi, si identificano le unità funzionali, i confini del sistema studiato, la necessità di dati, le assunzioni, i limiti, le procedure di verifica;
- *inventario (o bilancio ambientale)*, fase nella quale si elencano i consumi di risorse e di energia e i rilasci nell'ambiente (emissioni e scarti);
- *analisi degli impatti*, fase a sua volta suddivisa in:
 - classificazione degli impatti,
 - caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle conseguenze ambientali,
 - valutazione;
- *miglioramento*, fase nella quale si valutano e si identificano le migliori soluzioni per ridurre i carichi ambientali.

Queste quattro fasi sono necessarie per condurre un'analisi completa di LCA ma non tutte sono attualmente sufficientemente definite a livello metodologico. In particolare la fase di definizione degli obiettivi è ben definita, la fase di inventario e quella di analisi di impatto sono ancora in corso di definizione, mentre la fase di miglioramento è quella su cui non è ancora stato svolto molto lavoro. Si veda la tavola 3.



Tavola 3: Schema delle quattro fasi di cui è composta l'analisi del ciclo di vita.
(Fonte: Nostra elaborazione)

- **DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI**

La prima fase di una LCA è l'individuazione degli obiettivi che consiste in:

- definizione degli intenti e verifica dei soggetti interessati,
- definizione della portata dell'analisi e del suo livello di approfondimento, delle dimensioni del sistema, dei confini, dei requisiti dei dati,
- definizione dell'unità funzionale,
- valutazione della qualità dei dati.

Una volta definiti gli scopi dello studio (es.: fornire una base conoscitiva, migliorare le prestazioni di un prodotto esistente, definire i criteri per un ecolabel, ...) è necessario definire con esattezza il proprio oggetto ed in particolare l'unità funzionale.

L'unità funzionale è definita dalla SETAC come "la misura della prestazione svolta da un sistema"; le unità di misura convenzionali (peso, pezzi, etc.) non sono sempre adeguate a questo fine. L'unità di misura deve essere coerente con la funzione centrale che viene analizzata, oltre ad essere chiara e quantificabile: se, ad esempio, la funzione è l'imballaggio l'unità di misura sarà la quantità di imballaggio per un certo volume (e non un kg di plastica o un kg di vetro). Dunque in linea generale l'unità funzionale dovrebbe corrispondere

ad un servizio offerto piuttosto che ad un tipo di prodotto: un imballo piuttosto che una bottiglia, un lavaggio piuttosto che una lavatrice.

Spesso accade che intervengano dei fattori non identificabili che influenzano l'unità funzionale ed è allora necessario effettuare alcune assunzioni. Per esempio per un elettrodomestico occorre definire la durabilità (che non corrisponde necessariamente alla durata di vita tecnica del prodotto), per un capo di vestiario occorre definire i criteri di accettabilità del consumatore sull'usura, occorre cioè una formulazione di una pluralità di ipotesi.

In sostanza occorre poter comparare prodotti che offrono un medesimo "servizio".

- *ANALISI DI INVENTARIO*

L'analisi di inventario, che è la componente base di una LCA , comprende secondo la SETAC le seguenti sottofasi:

- la definizione del sistema da studiare,
- la raccolta dei dati,
- l'allocazione degli impatti,
- il trattamento dell'energia.

La definizione del sistema e dei suoi confini. Ogni prodotto o servizio deve essere rappresentato come un sistema, vale a dire come il risultato di un insieme di operazioni che richiedono l'uso diretto o indiretto di energia e di materiali: processi produttivi, processi di trasporto, processi di estrazione, etc. Tale sistema è distinto dal contesto circostante attraverso dei confini, al di fuori dei quali si colloca il sistema-ambiente.

Ogni sistema può quindi essere rappresentato come nella tavola 4, in cui, all'interno del riquadro (il sistema) sono collocate le operazioni connesse con l'energia e i materiali e all'esterno è collocato l'ambiente che è sia la fonte degli input di energia e materiali necessaria al sistema sia il ricettore degli output prodotti dal sistema.

L'analisi di inventario è una descrizione quantitativa di tutti i flussi di materiali ed energia attraverso i confini del sistema sia in uscita che in entrata.



Tavola 4: Rappresentazione del sistema (prodotto o servizio) e dei suoi confini nell'analisi di inventario.
(Fonte: SETAC, 1993)

Per elaborare i flussi di input ed output di un sistema, esso può essere scomposto in una serie di sottosistemi interconnessi in cui dovrebbero essere individuati i flussi di energia e i materiali da un subsistema all'altro; il grado di suddivisione del sistema complessivo in sottosistemi o operazioni è spesso determinato dalla disponibilità di dati e dagli obiettivi dell'analisi.

Il modo migliore per rappresentare i componenti di un sistema è quello di sviluppare uno schema a blocchi che evidenzia le interconnessioni tra i sottosistemi.

Uno schema a blocchi tipico di un processo industriale comprende tre principali gruppi di operazioni:

- la principale sequenza produttiva: acquisizione delle materie prime, produzione (manifattura del materiale di base, fabbricazione del prodotto finito pronto all'uso, distribuzione), uso/riuso/manutenzione, riciclo/smaltimento,
- la produzione di materiale ausiliario,
- la produzione di energia necessaria alla produzione.

La raccolta di dati (input ed output per ogni sottosistema). I dati possono essere raccolti principalmente dalle società che operano all'interno del processo, oppure possono essere utilizzati i dati provenienti da calcoli

ingegneristici basati su processi chimici e tecnologici, da stime tratte da operazioni analoghe, da fonti disponibili pubblicamente, da database, etc. I dati devono essere presentati in un formato standardizzato.

Bisogna considerare la variabilità dei dati, l'incertezza e la mancanza di alcuni dati. In alcuni casi può rendersi necessario un'ulteriore raccolta di dati. Si può procedere ad eventuali omissioni se si ritiene di dovere escludere certi sottosistemi.

L'allocazione degli impatti. Si tratta di individuare a quali prodotti attribuire gli impatti sia in termini di input che di output: in molti sistemi accanto al prodotto si producono dei coprodotti, oppure in un processo produttivo possono esserci sistemi di riciclo aperto (cioè verso l'esterno). E' quindi importante decidere come attribuire input ed output al prodotto oggetto di studio: l'allocazione di output, per esempio di emissioni nocive ai coprodotti, deve avvenire con le percentuali corrette, con dei parametri realistici che riflettano il comportamento del sistema stesso dal punto di vista sia chimico che fisico; il criterio più comune è quello di suddividere gli output fra coprodotti in ragione della massa, ma i criteri possono variare da sistema a sistema.

I problemi connessi con l'allocazione degli impatti coinvolgono l'analisi dei processi di trattamento dei rifiuti (le emissioni associate con i processi di trattamento dei rifiuti devono essere allocate in modo che il prodotto sotto studio sopporti solamente la sua parte di carichi ambientali) e l'analisi dei sistemi di riciclo: ogni opzione di riciclo è semplicemente un altro sottosistema all'interno del sistema principale; il riciclo a ciclo chiuso reinserisce il materiale al processo originale, mentre il riciclo a circuito aperto lo invia ad un altro processo dove esso viene usato come materia prima seconda.

Il metodo appropriato per allocare gli impatti dipende dall'obiettivo dello studio, ma è comunque importante che sia logico e reso esplicito nello studio.

In letteratura i metodi correntemente utilizzati per l'allocazione degli impatti totali sono:

- rispetto alla massa (molti studi);
- rispetto al numero di molecole (Fraunhofer Institute and Battelle/Franklin);
- rispetto all'energia incorporata.

La SETAC dà indicazione di non considerare il parametro economico nelle procedure di allocazione degli impatti.

Il trattamento dell'energia. Nel calcolo degli impatti le operazioni collegate con la generazione e la conversione di energia costituiscono uno specifico sottosistema del sistema oggetto di studio. Le fonti dovrebbero essere conosciute e l'energia dovrebbe essere riportata in valori unitari (es. in MJ = Mega Joule); inoltre il consumo di materia prima dovrebbe essere conteggiata per unità di massa. E' necessario distinguere tra materie prime inorganiche e materie prime organiche in quanto le prime finiscono come rifiuto o nel prodotto, quelle organiche possono essere invece oggetto di ulteriori trasformazioni ed essere utilizzate come combustibile.

In tale senso computare il prelievo di materie prime inorganiche è più semplice perché durante il processo appaiono inalterate sia nel prodotto finale che nei rifiuti prodotti. Nel caso di materiale organico il contenuto energetico della materia prima viene "sequestrato" in un prodotto. L'energia incorporata in un prodotto è sempre stata estratta dall'ambiente ma rimane ancora teoricamente disponibile come combustibile al termine della vita del prodotto. Per questo motivo nel bilancio energetico bisogna includere l'energia delle materie prime specialmente se la materia è usata come combustibile. Se un prodotto viene bruciato, una certa produzione dell'energia può essere quindi recuperata. Il fatto che un materiale non venga bruciato alla fine della sua vita rappresenta una perdita di risorse disponibili. Nell'inventario l'energia necessaria ad un prodotto deve essere conteggiata.

- *ANALISI DEGLI IMPATTI*

Si tratta di un processo tecnico, quantitativo e/o qualitativo, che caratterizza e valuta gli effetti ambientali degli impatti. Le metodologie di analisi di impatto sono ancora in corso di sviluppo e soprattutto non c'è ancora accordo.

In sintesi le fasi dell'analisi degli impatti sono:

- collocare i diversi impatti nelle categorie di effetti ambientali a cui si ritiene che contribuiscano (*classificazione*); le emissioni di CO₂ generano effetto serra, le emissioni di SO₂ generano acidificazione, il consumo di alcuni combustibili genera depauperamento delle risorse, etc.;
- aggregare e quantificare gli effetti ambientali complessivi (*caratterizzazione*): per ogni effetto ambientale sono state individuate misure quantificabili; il contributo dell'effetto serra è quantificabile, per esempio, trasformando le diverse emissioni che ne sono la causa in grammi di CO₂ equivalente attraverso adeguati fattori di classificazione; per i principali effetti ambientali è disponibile il riferimento ad una sostanza guida (tavola 5);
- standardizzare i dati aggregati per categoria di impatto in relazione all'effettiva grandezza degli impatti all'interno della categoria. In tale modo si rende possibile la comparazione di dati che provengono da differenti categorie di impatto e creare così una più solida base per la fase successiva;
- stendere un profilo ambientale, vale a dire l'insieme di misure di impatto, descrizioni o punteggi;
- valutare: è la fase in cui i profili vengono pesati e confrontati tra loro: nel caso, ad esempio, del confronto tra due sistemi può accadere che il primo contribuisca maggiormente all'effetto serra ed il secondo contribuisca a creare rischio per la salute umana; è quindi necessario stabilire in precedenza l'importanza relativa delle categorie di impatto, che è in relazione a valori sociali e di preferenza.

EFFETTO AMBIENTALE	FATTORE DI CLASSIFICAZIONE	UNITA' O SOSTANZA GUIDA
Esaurimento delle risorse naturali: - risorse abiotiche - risorse biotiche	- 1/riserve: (ton-1) - BDF (Biotic Depletion Factor)	- il deterioramento abiotico è adimensionale - il deterioramento biotico si esprime in anno-1
Aumento dell'effetto serra	GWP (Global Warming Potential)	kg di CO2 equivalente
Deterioramento dello strato d'ozono	ODP (Ozone Depletion Potential)	kg di CFC 11 equivalente
Tossicità umana	HCA (1), HCW (2), HCS (3)	kg di peso corporeo contaminato al limite massimo giornaliero accettabile
Ecotossicità: -acquatica -terrestre	- ECA (4) - ECT (5)	- m3 di acqua inquinata alla massima concentrazione tollerabile - kg di suolo inquinati alla massima concentrazione tollerabile
Formazione di ossidanti fotochimici (Ozono fotochimico)	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)	kg di ossidanti tra cui il più importante è l'Ozono
Acidificazione	AP (Acidification Potential)	kg di SO2 equivalenti (con lo stesso effetto di potenziale delle sostanze emesse)
Eutrofizzazione	NP (Nutrification Potential)	kg di fosfato (PO3-4) equivalente
Dispersione di calore	1	MJ
Odore	1/OTV (Odour Threshold Value)	m3 di aria inquinata fino alla soglia d'odore
Rumore	1	Pa2*s
Danno agli ecosistemi e ai paesaggi	1	Pa2*s
Vittime	1	numero delle vittime

Note:

- (1) Human Toxicological Classification Factor for the Air
- (2) Human Toxicological Classification Factor for the Water
- (3) Human Toxicological Classification Factor for the Soil
- (4) Ecotoxicological Classification for Aquatic Ecosystems
- (5) Ecotoxicological Classification for Terrestrial Ecosystems

Tabella 5: Tabella dei principali effetti ambientali con relative sostanze guida di riferimento e fattori di classificazione.
(Fonte: CNR-ICITE, Rapporto di ricerca 8/96)

Esistono diverse tecniche di valutazione ma la principale differenza è tra procedure di tipo quantitativo e procedure di tipo qualitativo: nelle procedure di tipo quantitativo gli specifici coefficienti di peso vengono utilizzati per aggregare gli impatti; se si segue il procedimento qualitativo è necessario stabilire quali sono le preferenze ambientali e i coefficienti di peso rimangono impliciti.

- **MIGLIORAMENTO**

Questa fase è la componente dell'analisi del ciclo di vita in cui vengono evidenziate e valutate le possibili opzioni per ridurre i carichi ambientali ed i relativi impatti. Questa fase è ancora oggetto di studio.

Valutare il miglioramento significa identificare, valutare, e selezionare le opzioni per i miglioramenti dei prodotti o dei processi attraverso i dati elaborati nella fase di inventario.

1.1.3 LA QUALITA' DEI DATI

Valutare e relazionare la qualità dei dati trattati è, secondo la SETAC, un'operazione importante in ogni analisi del ciclo di vita ai fini di una corretta interpretazione e comunicazione. Un corretto reperimento dei dati è prioritario.

Nel caso di dati primari (dati ottenuti dalle aziende di produzione), essi devono essere rappresentativi della "popolazione", vale a dire devono riferirsi a valori medi più che a specifiche procedure di manifattura; essi devono essere rappresentativi di un campione non casuale bensì estrapolato da fonti selezionate dall'analizzatore; spesso esistono differenze, ad esempio gli stessi impianti possono portare a valori di output differenti per le diversità tecnologiche, di manutenzione, di localizzazione e così via. Inoltre i dati forniti dalle industrie o dalle società possono differire per diverse ragioni, quali l'accuratezza della registrazione, la diversità nelle operazioni di raccolta dati, possibili errori, etc.

Le stime di accuratezza su questo genere di dati varia da una fonte all'altra, ma generalmente è possibile trovare dati che variano da una fonte all'altra in un range da 5 a 25%.

Anche se gli input possono essere monitorati in modo abbastanza attendibile bisogna sempre considerare il margine di errore che può avvenire nella conversione dei valori.

Anche i dati secondari, vale a dire quelli che possono essere reperiti in letteratura (database, pubblicazioni, etc.), sono condizionati dagli stessi problemi di variabilità.

Quanto sopra dimostra che tutto il processo è largamente soggettivo e la qualità degli indicatori dovrebbe essere selezionata e misurata di conseguenza. La SETAC raccomanda che i risultati di LCA non siano utilizzati in supporto alle decisioni senza che ne sia verificata l'attendibilità e la veridicità. Questo significa:

- valutare gli effetti delle assunzioni chiave sui risultati finali;
- controllare i dati la cui qualità è incerta;
- evidenziare se i risultati dell'analisi sono strettamente dipendenti da particolari gruppi di dati di input;
- valutare gli effetti del ciclo di vita sulle variazioni considerate.

Specifiche metodologie per assicurare la qualità in una LCA non sono ancora state sviluppate ma il lavoro in corso mira a sviluppare una base statistica per giudicare il progetto.

1.1.4 LA PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

La SETAC dedica una parte del lavoro all'importanza della rappresentazione dei risultati ed alla loro trasferibilità.

La presentazione e la comunicazione dei risultati è un elemento di primaria importanza negli studi di LCA. Senza una divulgazione trasparente lo studio avrebbe un valore molto limitato. Inoltre i diversi destinatari dello studio potranno influenzare il modo con cui i risultati e lo studio vengono comunicati.

L'importanza di questa fase di divulgazione rende necessaria la formulazione di linee guida che indichino le informazioni indispensabili sulla presentazione dei risultati di seguito sintetizzate.

I risultati di LCA devono essere accuratamente riportati in una relazione che deve includere:

- obiettivi dello studio;
- i confini del sistema;

- il diagramma dei flussi;
- la metodologia utilizzata;
- la diversa qualità dei dati, indicando: variabilità ed incertezza, le fonti di reperimento, l'età dei dati, il metodo di raccolta, il periodo coperto, la rappresentatività, l'aggregazione dei dati, etc.;
- presentazione dei dati in forma dettagliata utilizzando istogrammi, tabelle, etc.;
- conclusioni esplicite;
- sommario autoconsistente della relazione finale che comprende almeno: obiettivi e ampiezza dell'analisi, diagramma dei flussi, ed indicare i risultati attesi; i principali risultati dedotti dall'inventario e dai componenti della valutazione dell'impatto dovrebbero essere presentati in modo da assicurare l'uso corretto delle informazioni; il sommario deve anche contenere alcune delle raccomandazioni e delle conclusioni tratte nel corso dello studio;
- revisione critica accurata dei risultati principali: tale operazione accresce la qualità scientifica e tecnica della LCA, mira a verificare la validità dei dati, la metodologia utilizzata e, rispetto ad altre pubblicazioni scientifiche, apparirà più estensiva perché uno studio di LCA comporta delle implicazioni politiche e la complessità dei dati richiede un approccio multidisciplinare rispetto ad altre recensioni scientifiche;
- una sintesi delle esperienze del professionista sottolineando quelle relative alla LCA.

1.2 LE APPLICAZIONI DELLA LCA

Occorre chiarire quali siano i possibili impieghi della LCA come strumento di valutazione ambientale. Infatti dalla letteratura emerge che le caratteristiche di uno strumento di valutazione ambientale variano in relazione agli obiettivi a cui esso deve rispondere e agli operatori che lo devono utilizzare.

Si possono individuare due categorie di utilizzazione: quella degli interventi tipici del mondo produttivo e quella degli interventi di supporto alle decisioni della pubblica amministrazione.

I diversi scopi per i quali la LCA può essere utilizzata, per quanto riguarda i produttori, si possono così elencare:

- paragonare materiali diversi per uno stesso uso;
- valutare gli effetti dell'utilizzo di risorse per prodotti particolari (specialmente per nuovi prodotti);
- comparare prodotti equivalenti nell'uso;
- comparare diverse soluzioni all'interno di un processo con lo scopo di individuare quelle che consentono di minimizzare gli impatti ambientali;
- identificare processi, componenti e sistemi che contribuiscono in misura maggiore all'impatto ambientale;
- fornire informazioni di base per l'esecuzione di audit ambientali;
- fornire indicazioni nell'ambito di strategie a lungo termine circa le tendenze relative alla progettazione di prodotti e all'uso di materiali;
- aiutare il progettista nella scelta di materiali a basso impatto ambientale nella realizzazione di un determinato prodotto;
- valutare le contestazioni provenienti da altri prodotti;
- accrescere la competitività sul mercato;
- fornire informazioni ai consumatori circa le caratteristiche delle risorse impiegate per i propri prodotti o materiali.

Per ciò che concerne le istituzioni, la LCA è impiegata per:

- aiutare la valutazione e la differenziazione fra prodotti nell'ambito della concessione di etichette (Ecolabel);
- fornire informazioni al consumatore circa le caratteristiche delle risorse impiegate nella fabbricazione di prodotti o materiali;
- raccogliere informazioni ambientali;
- identificare carenze nella conoscenza di alcuni prodotti e priorità nella ricerca;
- fornire le informazioni necessarie per stabilire degli standard per le informazioni da associare ai prodotti (ad esempio definire il contenuto di materiale riciclato);
- fornire le informazioni necessarie per l'emanazione di norme che limitino l'uso di prodotti o materiali;
- aiutare nello sviluppo di politiche a lungo termine circa l'utilizzo di materiali, conservazione di risorse, riduzione di impatti e rischi connessi con l'uso di materiali e processi produttivi lungo il ciclo di vita di un prodotto;
- valutare contestazioni provenienti dai produttori;
- valutare gli effetti sulle risorse connessi con la riduzione del consumo delle fonti;
- valutare l'utilizzo di tecniche alternative per il trattamento dei rifiuti.

Quanto detto può essere sintetizzato nella tavola 6 dove per ogni obiettivo vengono indicati l'operatore interessato e lo strumento utile per raggiungerlo.

Naturalmente da ognuno dei diversi operatori (le aziende, i consumatori, gli enti pubblici) vengono domande ed aspettative diverse.

OBIETTIVO	OPERATORE INTERESSATO	STRUMENTO DI VALUTAZIONE
Progettare prodotti a basso impatto ambientale	Azienda di produzione	Inventario impatti nella specifica produzione Intervento sui singoli impatti a rischio
Comparare più prodotti di una stessa categoria	Ambiti scientifici - Associazioni di categoria	Profili di impatto ambientale confrontabili
Definire requisiti ambientali per categorie di prodotti (criteri di ecolabel, normativa prestazionale)	Ambiti scientifici - Enti normatori	Inventario degli impatti (statistica) Scelta di soglie limite di riferimento
Valutare gli impatti globali di specifiche produzioni	Enti di certificazione	Inventario impatti della specifica produzione Confronto con le soglie limite
Supportare le scelte dell'utilizzatore (educare e informare sulla qualità ambientale)	Ambiti scientifici - Associazioni di categoria	Schede informative, profili ambientali (su medie statistiche)

Tavola 6: Schema delle possibili applicazioni di un'analisi del ciclo di vita.
(Fonte: rielaborazione da CNR-ICITE, Rapporto di ricerca 8/96)

Ognuno di questi impieghi richiede differenti livelli di affidabilità dei dati e delle conclusioni e, almeno in parte, condiziona anche la metodologia di indagine. Perciò la stessa struttura di un bilancio ambientale e di una valutazione del ciclo di vita dovrebbe essere differenziata in funzione delle finalità dello studio.

1.2.1 LA LCA PER LA DEFINIZIONE DI CRITERI DI MARCHI DI QUALITÀ ECOLOGICA E CASI STUDIO (PIASTRELLE CERAMICHE ED ECOCERTO)

L'interesse nato attorno allo studio degli impatti ambientali dei prodotti è, come si diceva all'inizio del Capitolo, il risultato di una maggiore sensibilizzazione ai problemi dell'ambiente. Tuttavia oggi la LCA trova una rinnovata spinta grazie al fenomeno della ecoclassificazione (ecolabelling): vi sono infatti alcune recenti iniziative che, nel campo industriale e dei beni di largo consumo, premiano i prodotti "amici dell'ambiente" attraverso pagelle e marchi ecologici che consentono all'utente di compiere scelte anche in base a criteri di rispetto dell'ambiente.

In sé molti marchi di qualità in campo industriale non sono una novità: esistevano già marchi negativi, come le etichettature per i prodotti nocivi o le avvertenze sui danni del tabacco, dell'alcol e dei fosfati, esistono anche i marchi informativi che descrivono la composizione di un prodotto ed i marchi di

qualità che certificano la qualità merceologica di un prodotto (ad esempio l'IMQ: il marchio per la sicurezza degli elettrodomestici).

Invece i marchi di qualità ambientale, non obbligatori ma volontari, sono stati concepiti come uno strumento di politica ambientale "market oriented", finalizzata a stimolare, attraverso le scelte del consumatore, un cambiamento nell'offerta dei prodotti.

Il fenomeno sta diventando sempre più diffuso e, in alcuni casi, incontrollato: su una gran parte di prodotti di uso quotidiano si trovano simboli di vario genere che intendono testimoniare la "bontà" ecologica del prodotto per promuoverlo sul mercato in contrapposizione ai prodotti che inquinano.

Solo in alcuni casi le associazioni di produttori fanno certificare i loro prodotti da istituti che rilasciano il marchio ecologico (Morfini L., 1992).

Per regolare il fenomeno dei marchi di qualità ecologica, il Consiglio delle Comunità Europee ha emanato un apposito Regolamento Comunitario CEE n° 880 adottato il 23 marzo 1992, attinente al tema dell'etichettatura ecologica dei prodotti (Ecolabel), con la finalità di stabilire criteri uniformi per la sua assegnazione in tutta la Comunità.

Prima di esaminare il Regolamento della Comunità Europea è bene però illustrare brevemente i principali marchi ecologici: l'"Angelo Blu" tedesco e l'"NF-Environnement" francese, marchi che hanno proposto modelli nell'ottica dello schema indicativo incluso poi nel Regolamento CEE.

Non bisogna però dimenticare che gli altri Paesi in cui sono attualmente presenti marchi di qualità ambientale riconosciuti pubblicamente sono i Paesi Scandinavi, il Giappone e il Canada. Si veda la tavola 7.

ANNO	NAZIONE	NOME ETICHETTATURA	ORGANISMO DI ASSEGNAZIONE E CONTROLLO	PRODOTTI EDILIZI ETICHETTATI O ALLO STUDIO
1978	Germania	Angelo Azzurro	R.A.L. (Istituto Marchio di Qualità)	Materiali da costruzione prodotti con carta di recupero Materiali da costruzione ottenuti da gesso riciclato Materiali da costruzione ottenuti da vetro riciclato Materiali per pavimentazione senza amianto Carta da parati prodotta con carta riciclata Vernici e rivestimenti a basso contenuto di inquinanti Lacche e altri rivestimenti in polvere Rivestimenti anticorrosivi a basso contenuto di piombo e cromati Materiali in legno a basso contenuto di formaldeide Vetri da finestra multistrato con alto potere isolante
1984	Stati Uniti	Green Cross	GCCC (Green Cross Certification Company)	Piastrella in legno naturale
1988	Canada	Ecologo	CSA (Canadian Standard Association)	Materiali isolanti a base di fibre di cellulosa riciclate Prodotti fabbricati con plastica riciclata Vernici a base di solventi a minor impatto ambientale Vernici a base di acqua
1988	Giappone	EcoMark	JEA (Japan Environmental Association)	Isolanti termici per l'edilizia Materiali per l'isolamento acustico e vibrazionale Cemento prodotto con scorie d'altoforno Materiali prodotti con plastica riciclata
1989	Paesi Nordici	Miljomarkt	Comitato di Coordinamento per l'etichettatura ecologica	Isolanti Vernici Materiali da costruzione Prodotti riciclati in plastica e gomma
1991	Francia	NF-Environment	AFNOR (Associazione Francese di Normalizzazione)	Pitture, vernici e prodotti connessi
1992	CEE	Ecolabel	Commissione CEE	Materiali isolanti Coloranti e vernici Piastrelle ceramiche
1994	Italia	Ecocerto	Politecnico di Milano	Prodotti da costruzione Componenti per impianti tecnici

Tavola 7: I sistemi di etichettatura esistenti per i prodotti edilizi.
(Fonte: Oberti I., 1994)

La proposta di introdurre un marchio di qualità ecologica per i prodotti industriali fu sviluppata in Germania nel 1971 ed applicata per la prima volta, sempre in Germania, nel 1977 con l'istituzione del marchio "Angelo Blu" da parte del Ministero per la protezione ambientale e successivamente approvato dalle Nazioni Unite. Il marchio è rilasciato dal RAL (l'Istituto tedesco per l'assicurazione di qualità e l'etichettatura), con il parere dell'Agenzia Federale per l'Ambiente, ai prodotti che, comparati con prodotti con le stesse funzioni e considerati tutti gli aspetti di rapporto con l'ambiente, hanno il minor impatto ambientale, senza però essere meno completi e sicuri.

Le fasi considerate dall'Angelo Blu sono quelle relative alla scelta delle materie prime, alla produzione, all'uso e allo smaltimento. Per ogni categoria di prodotti sono fissati i criteri in base ai quali può essere concesso il marchio; l'analisi dei prodotti viene poi eseguita considerando tutti gli aspetti di protezione ambientale:

- contenuto di sostanze pericolose;
- emissione di inquinanti in aria, acqua e suolo;
- rumore, riduzione e riciclabilità dei rifiuti;
- risparmio di risorse naturali, compresa l'energia;
- usabilità e sicurezza in termini di salute.

Complessivamente l'Angelo Blu è stato rilasciato a circa 70 gruppi di prodotti di cui è stato valutato un "buon comportamento" ambientale perché attenti alla riciclabilità nelle materie prime impiegate, al ciclo energetico, all'assenza di sostanze pericolose nella composizione, alla bassa emissività e all'inquinamento acustico in fase di produzione, etc.

Anche l'approccio francese (la Francia ha introdotto nel 1991 il marchio "NF-Environnement") considera le diverse fasi del ciclo di vita e degli impatti:

- estrazione, trasporto e lavorazione delle materie prime;
- fabbricazione del prodotto;
- distribuzione ai consumatori;
- uso del prodotto;
- smaltimento (riciclaggio, recupero materie seconde o energia).

Queste fasi sono analizzate rispetto a vari fattori: consumi di materie prime, acqua, etc., consumi energetici, consumi di territorio, emissioni atmosferiche, emissioni idriche, generazione di rifiuti solidi, emissione di rumore, sostanze pericolose, sicurezza, effetti sulla salute, ambiente di lavoro, qualità d'uso.

Per ognuno di questi fattori di impatto possono essere stabiliti vari parametri. La valutazione degli impatti comporta la redazione di bilanci ambientali per ogni ciclo di vita in rapporto alle componenti ambientali considerate. La valutazione dell'importanza dei vari impatti può essere molto soggettiva e quindi, per l'espressione in valori numerici dell'impatto ambientale di un prodotto e per la sua comparazione con altri analoghi, i diversi paesi hanno definito vari criteri.

In Germania la valutazione è affidata alla determinazione di alcuni standard in relazione al singolo fattore: ad esempio, per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico si devono garantire concentrazioni di polveri nell'ambiente inferiori a $0,25 \text{ mg/m}^3$ e di ozono inferiori a $0,04 \text{ mg/m}^3$.

Il modello proposto dalla Francia valuta ciascun fattore e parametro di impatto secondo criteri quantitativi e qualitativi assegnando valori numerici; l'ipotesi è che un prodotto ecologico debba avere un punteggio tendente a zero. I punti sono delle penalità che misurano l'impatto sulla risorsa: nullo 0, debole 1, medio 2, forte 3.

I criteri per la valutazione qualitativa differiscono in funzione delle componenti ambientali considerate; nel caso ad esempio di consumi di materie prime, si stabilisce se le risorse sono: abbondanti (0)/rare (1), rinnovabili (0)/non rinnovabili (1), recuperabili (0)/non recuperabili (1) e si assegna il punteggio derivante dalla somma.

Sulla base delle esperienze attuate in campo internazionale anche la Comunità Economica Europea ha deciso di istituire un sistema di eco-etichettatura adottando il Regolamento n° 880/92, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale CEE n. L99 dell' 11 aprile 1992.

Il Regolamento CEE si riferisce all'intera gamma dei prodotti industriali esclusi quelli alimentari e farmaceutici. Entrando nel dettaglio gli obiettivi che il Regolamento (art. 1 "Finalità") intende perseguire sono:

- sensibilizzare i produttori affinché nel processo produttivo i temi della protezione ambientale abbiano maggiore peso, sollecitando anche la competizione industriale nel campo dell'innovazione;
- riconoscere e promuovere quei prodotti che abbiano minore impatto ambientale, a parità di funzione;
- informare il consumatore sugli effetti che determinate categorie di prodotti o singoli prodotti possono avere sull'ambiente;

- fornire sia ai consumatori che alle aziende uno strumento che li garantisca nei confronti di pubblicità ingannevoli e arbitrarie.

L'innovazione introdotta dall'applicazione dell'Ecolabel è proprio nell'offrire al consumatore la possibilità di scegliere un prodotto le cui caratteristiche "ecologiche" sono state testate da organismi che devono essere caratterizzati dal requisito della imparzialità. Il fatto che la concessione del marchio sia ratificata da un'autorità pubblica e abbia scadenza contrattuale (con la conseguente periodizzazione delle verifiche e dei controlli a cui il prodotto con ecolabel è sottoposto), rappresenta, per il consumatore, una garanzia di trasparenza e di validità scientifica del procedimento stesso.

Oltre a fornire al consumatore informazioni sull'impatto ambientale dei prodotti, l'etichetta mira alla correzione del mercato, ad innescare cioè la competizione industriale nella fabbricazione di prodotti meno nocivi per l'ambiente e ad instaurare un meccanismo commerciale che assicuri una migliore qualità dell'ambiente.

Sotto questo profilo l'ecolabel costituisce un efficace strumento di mercato.

La maggiore competitività dei prodotti "puliti", conseguente alla crescita della domanda, non può non orientare il mondo produttivo verso:

- a) la modifica dei comportamenti e processi produttivi;
- b) l'adozione di tecnologie meno inquinanti durante l'intero ciclo di vita del prodotto (produzione, distribuzione, utilizzazione, smaltimento);
- c) l'incentivazione della ricerca di processi e materiali meno inquinanti;
- d) la razionalizzazione dell'uso delle fonti energetiche e delle risorse naturali.

Identificati gli obiettivi, l'attenzione viene rivolta ora ai criteri per l'assegnazione dell'etichetta. L'articolo 5 "gruppi di prodotti e criteri ecologici" prevede al punto 4 che "I criteri ecologici specifici per ogni gruppo di prodotti sono stabiliti secondo un metodo globale - dalla culla alla tomba- (...). I criteri devono essere precisi, chiari e obiettivi onde garantire l'uniformità di applicazione da parte degli organismi competenti.

Devono assicurare un elevato livello di tutela dell'ambiente, devono basarsi, ove è possibile, sull'uso di tecnologie pulite e, se del caso, riflettere l'opportunità di ottimizzare la durata del prodotto ...”.

L'allegato 1, incluso nel Regolamento, fornisce uno schema indicativo dei parametri di valutazione dei prodotti (si veda la tavola 8).

CICLO DI VITA DEL PRODOTTO					
ASPETTI AMBIENTALI	Preproduzione	Produzione	Distribuzione (compreso imballaggio)	Utilizzazione	Smaltimento
Quantità dei rifiuti					
Inquinamento e degradamento del suolo					
Contaminazione delle acque					
Contaminazione dell'atmosfera					
Rumori					
Consumo di energia					
Consumo di risorse naturali					
Effetti sugli ecosistemi					

Tavola 8: Schema di LCA proposto dal Regolamento CEE n. 880 del 1992.
(Fonte: Consiglio CEE del 23 marzo 1992)

In particolare lo schema proposto comprende, per le diverse fasi di vita del prodotto (preproduzione, produzione, distribuzione, utilizzazione, smaltimento), la considerazione dei seguenti aspetti ambientali:

- quantità di rifiuti prodotti,
- contaminazione delle acque,
- contaminazione dell'atmosfera,
- produzione di rumori,
- consumo di energia,

- consumo di risorse naturali,
- effetti sugli ecosistemi.

Il marchio comunitario di qualità ecologica (Ecolabel) è costituito da una margherita verde.

Il Regolamento stabilisce una procedura valida per tutti i prodotti cui può essere assegnato il marchio:

- innanzitutto essi devono essere suddivisi in gruppi, dove per “gruppo di prodotti” si intende “i prodotti destinati a scopi analoghi e che possono essere usati in modo equivalente”: ogni gruppo è tale quindi da includere al suo interno tutti i prodotti in concorrenza fra loro;
- per quanto riguarda i criteri di assegnazione del marchio, questi devono essere definiti specificamente per ciascun gruppo. I criteri di assegnazione del marchio saranno stabiliti per categorie di prodotti da Gruppi di Lavoro a diversa responsabilità nazionale, che dovranno condurre i loro studi tramite l’analisi delle fasi di vita del prodotto;
- la durata di validità dei gruppi di prodotti è di tre anni, e la durata di validità dei criteri non può superare la durata di validità del gruppo di prodotti cui si riferiscono (Consiglio CEE, 1992).

In conclusione: l’Ecolabel rappresenta una delle principali applicazioni della metodologia della LCA. L’etichetta ecologica, infatti, mira a premiare quei prodotti che pur mantenendo le caratteristiche richieste dal mercato, presentano un ridotto impatto sull’ambiente: poiché si basa su concreti benefici ambientali per un determinato sistema produttivo e per un determinato prodotto, ha bisogno di un supporto scientifico che può essere fornito da questo metodo di analisi.

E’ interessante vedere due casi di studio di definizione di criteri di Ecolabel per analizzare come hanno applicato l’analisi del ciclo di vita:

- la ricerca svolta dal Ministero dell'Ambiente italiano in adempienza all'incarico affidatogli dal Consiglio delle Comunità Europee per stabilire i criteri di attribuzione dell'Ecolabel alle piastrelle ceramiche; e
- lo studio di assegnazione del marchio Ecocerto, marchio italiano attribuibile a prodotti e ad impianti per la costruzione di ambienti salubri sul fronte ecologico.

Sono state selezionate queste due esperienze italiane perchè entrambi gli studi si occupano dell'etichettatura ecologica dei prodotti appartenenti al settore edilizio.

PIASTRELLE CERAMICHE: UN CASO DI APPLICAZIONE DELL'ECOLABEL

L'assegnazione della famiglia di prodotti "piastrelle ceramiche" da parte della Comunità Europea all'Italia, per lo studio di Ecolabel, si spiega soprattutto con il fatto che il nostro Paese è il maggior produttore mondiale di piastrelle ceramiche, con un'incidenza superiore al 30% della produzione mondiale.

Lo studio per l'Ecolabel (svolto dall'Enea in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente), riguardante il vasto settore delle piastrelle ceramiche, ha individuato dei gruppi di prodotti con omogenei consumi di energia ed emissioni, allo scopo di stabilire uno schema semplice ed applicabile di limiti e requisiti sufficientemente significativi. La suddivisione proposta classifica i differenti tipi di ceramiche in tre categorie:

- Gruppo A: piastrelle per pavimenti (assorbimento d'acqua fino al 6%);
- Gruppo B: piastrelle per pareti, a cottura veloce singola/doppia (assorbimento d'acqua superiore al 6%);
- Gruppo C: piastrelle per pareti, a cottura lenta doppia (assorbimento d'acqua superiore al 6%).

L'obiettivo dello studio è quello di determinare tutti quegli aspetti che possono dare vita ad un impatto ambientale negativo durante l'intero ciclo di vita del prodotto "piastrella in ceramica per pavimenti e pareti".

Per raggiungere tale obiettivo l'Enea, considerando come "unità funzionale" 1 m² di superficie piastrellata, ha individuato il ciclo di vita del prodotto oggetto di studio, ciclo che può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- Pre-produzione

Questa fase comprende l'estrazione ed il trasporto delle materie prime.

Le materie prime per la produzione di piastrelle ceramiche si trovano tutte in natura e sono presenti in dosi estremamente abbondanti. Esse si dividono in argillose e non argillose. Alla prima categoria appartiene l'argilla; alla seconda appartengono i costituenti smagranti (le materie quarzose) e quelli fondenti (le materie feldspatiche e/o carbonatiche). A queste materie prime, che serviranno nella fase successiva per produrre le miscele ceramiche, si devono aggiungere i materiali per la verniciatura a smalto.

- Produzione

La fase della produzione include tutti i passaggi che vanno dalla preparazione dell'impasto con le materie prime alla manifattura del prodotto finito: formatura, essiccamento, cottura o bicottura o monocottura, e per queste ultime due tecnologie è prevista una smaltatura seguita da cottura.

- Distribuzione

Questa fase include la posa della piastrella in ceramica nell'ubicazione utilizzata.

- Smaltimento

E' la fase che conclude il ciclo di vita della piastrella ceramica. Il 90% delle piastrelle ceramiche termina il proprio ciclo di esistenza in discarica.

Per ognuna di queste fasi del ciclo di vita riferito ai tre gruppi di prodotti in ceramica, lo studio ha considerato i seguenti aspetti:

- consumo totale di energia;
- consumo totale di materie prime;

- impatti nell'aria;
- impatti nell'acqua;
- produzione di rifiuti.

L'analisi ha risentito della mancanza di dati relativi a numerosi parametri; nonostante ciò, le conoscenze disponibili sul ciclo di vita della piastrella ceramica erano sufficienti per arrivare a formulare un'ipotesi di criteri ai fini dell'attribuzione di Ecolabel.

Come esempio per illustrare il tipo di studio sui criteri di attribuzione dell'Ecolabel alle piastrelle ceramiche, si riporta di seguito il caso dei prodotti del Gruppo A, avendo gli altri gruppi cicli di vita del tutto simili.

LCA per il Gruppo A: piastrelle ceramiche per pavimento

• **Pre-produzione**

In questa fase l'impatto ambientale è costituito dall'estrazione delle materie prime, dal trasporto e dall'imballaggio:

- Estrazione delle materie prime: si è calcolato che per coprire 1 m² di pavimento con le piastrelle del Gruppo A sono necessari circa 20 kg di materie prime e 1 kg di prodotto riciclato. Il consumo di energia per l'estrazione delle materie prime è stimato di 800 Kcal/m², assumendo che si usino macchine a motore Diesel.
- Trasporto: si è considerato che l'impatto causato dal trasporto su strada del materiale da impiegare per rivestire 1 m² per un tratto di strada di 35 Km (35 Km rappresenta il valore medio della distanza tra la cava e l'azienda, distanza che solitamente si aggira tra i 20 e i 50 Km).
- Imballaggio: il consumo di materiali per l'imballaggio delle materie prime si può quantificare come segue:

carta:	6 g/m ²
plastica (HDPE):	3,5 g/m ²

polythene - rafia trattata: $0,6 \text{ g/m}^2$

legno: 5 g/m^2

Nella Pre-produzione non è necessario considerare altri impatti. Non sono riportati dati relativi alla produzione degli smalti.

• **Produzione**

Qui vengono incluse tutte le fasi che cominciano con la produzione delle materie prime, attraverso la manifattura del prodotto semifinito, fino alla manifattura del prodotto finale.

- Consumi: la produzione di 1 m^2 di rivestimento implica l'utilizzo di 21 kg di materie prime, mentre il peso di 1 m^2 di prodotto finale è di circa 18 kg.

Il consumo di energia (per l'intero processo) è considerato equivalente a 30.900 Kcal/m^2 e il combustibile usato è gas naturale; il consumo di elettricità è equivalente a $4,4 \text{ Kw el./m}^2$.

Il consumo dell'acqua è stimato equivalente a $0,015 \text{ m}^3$ per 1 m^2 di prodotto.

- Emissioni: per quanto riguarda l'uso dell'elettricità l'impatto, in termini di peso, dei fluoruri, ad esempio, è nell'atmosfera di $4416,57 \text{ mg/KWh}$ e invece in acqua è di $1,335 \text{ mg/KWh}$.

Per maggiori dettagli si veda la tavola 9.

Per quanto riguarda le emissioni provenienti dal processo, si ha ad esempio che l'emissione di CO_2 è di $6632,26 \text{ g/m}^2$, mentre i fluoruri hanno un impatto di $0,63 \text{ g/m}^2$. Per maggiori dettagli si veda quanto riportato nella tavola 10.

Per quanto riguarda le emissioni nell'acqua, per questo tipo di prodotto è possibile operare un riciclo totale delle acque reflue.

- Rifiuti solidi: consistono principalmente in fanghi provenienti dal trattamento di depurazione dell'acqua; la loro natura fisico-chimica è tale da renderli dei "rifiuti speciali". Il loro quantitativo è stimato di circa $0,26 \text{ kg/m}^2$ con una percentuale di acqua contenuta di circa il 40%.

		<i>Unità</i>	<i>Media</i>
Produzione di energia elettrica			
	Impianto a conversione termica	%	42.90
	Impianto a carbone	%	25.60
	Impianto a olio combustibile pesante	%	9.03
	Impianto a gas naturale	%	8.00
	Impianto nucleare	%	36.90
	Impianto idroelettrico	%	20.02
Emissioni in aria			
	Polveri	mg/kWh	2502.34
	SO ₂	mg/kWh	2112.25
	HC	mg/kWh	1236.32
	NOX	mg/kWh	56.92
	N ₂ O	mg/kWh	348.91
	CO	mg/kWh	2.59
	Aldeidi	mg/kWh	4.68
	Altri composti organici	mg/kWh	0.49
	NH ₃	mg/kWh	0.01
	Fluoruri	mg/kWh	4416.57
	CO ₂	mg/kWh	
Emissioni in acqua			
	Sostanze disciolte	mg/kWh	316.559
	Sostanze sospese	mg/kWh	0.148
	BOD	mg/kWh	0.148
	COD	mg/kWh	0.445
	Olii	mg/kWh	4.735
	Fenolo	mg/kWh	0.000
	NH ₃	mg/kWh	0.619
	Fluoruri	mg/kWh	1.335
	Solfati	mg/kWh	0.282
	Nitrati	mg/kWh	0.316
	Cloruri	mg/kWh	0.017
	Ioni sodio	mg/kWh	0.219
	Ioni ferro	mg/kWh	0.003
Rifiuti Solidi		mg/kWh	49.1

Tavola 9: *Impatto ambientale dovuto alla produzione di energia elettrica per giungere alla manifattura della piastrella in ceramica.*
 (Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

		Unità	Valore
Emissioni in aria	Particellato	g/mq	14.05
	CO	g/mq	1.63
	CO2	g/mq	6632.26
	HC	g/mq	81.20
	NOX	g/mq	11.88
	N2O	g/mq	8.54
	SO2	g/mq	5.60
	Aldeide	g/mq	
	Clor.CH	g/mq	
	Composti organici	g/mq	
	NH3	g/mq	
	HCl	g/mq	
	Cl2	g/mq	
	Hg	g/mq	
	Fluoruri	g/mq	0.63
	H2SO4	g/mq	
	Mercatano	g/mq	
	H2S	g/mq	
	Na2SO4	g/mq	
	HF	g/mq	
Catrame	g/mq		
Cloruri	g/mq		
Pb	g/mq		

Tavola 10: Emissioni nell'aria derivanti dal processo produttivo delle piastrelle ceramiche del Gruppo A.
(Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

• Distribuzione

In questa fase gli impatti ambientali sono principalmente causati dall'imballaggio e dal trasporto.

– Imballaggio: viene praticamente usato un solo tipo di imballaggio:

carta: 100 g/m²

plastica (HDPE): 100 g/m²

legno: 170 g/m²

– Trasporto: riguardo al trasporto, esso varia molto in base all'area di distribuzione (locale, nazionale o internazionale). L'impatto viene calcolato tramite tabelle già disponibili (fonti: Buwal Swiss Study '91 e IASA) per il trasporto di 1 m² di rivestimento ceramico per 100 Km di trasporto su strada.

- **Uso**

Lo studio ha optato per non trattare questa fase, non disponendo di dati specifici.

- **Smaltimento**

Lo studio affronta unicamente lo smaltimento dei rifiuti di produzione; non indaga lo smaltimento post-consumo delle piastrelle.

Così il rapporto Enea ha considerato lo smaltimento in una discarica della quantità di materiale necessario per produrre 1 m² di rivestimento ceramico. La "densità" (volume) è stata stimata di 1.500 kg/m³. E' stato anche incluso il trasporto su strada per circa 50 Km. La natura dei rifiuti è tale che essi possano essere classificati come inerti, assimilabili o smaltibili come rifiuti solidi urbani.

In base all'analisi condotta, il Ministero dell'Ambiente, in collaborazione con l'ENEA, ha ritenuto di impostare i criteri per l'assegnazione dell'ecolabel alle piastrelle in ceramica sui seguenti parametri:

- consumi di energia: per la produzione delle piastrelle del tipo vetrificato (gruppo A, per pavimenti), ad esempio, non bisogna superare i 9 GJ/t di prodotto;
- emissioni gassose: per esempio nella smaltatura non bisogna superare i 10 mg/Nm³ di particolato e non devono esserci emissioni di fluoro;
- consumi di acqua e generazione di acque reflue: il consumo di acqua, ad esempio, non deve superare i 15 litri per m² di piastrelle prodotte;
- fanghi: due soluzioni sono state ritenute accettabili: il totale riuso dei fanghi e il trattamento dei fanghi che li renda inerti.

Per questi parametri sono stati scelti i valori degli impatti medi. Questo significa che non si è in grado di valutare l'effettiva nocività degli impatti (emissioni) in riferimento a limiti normativi. Per i valori-limite proposti si vedano, per maggiori dettagli, le tavole 11,12,13,14.

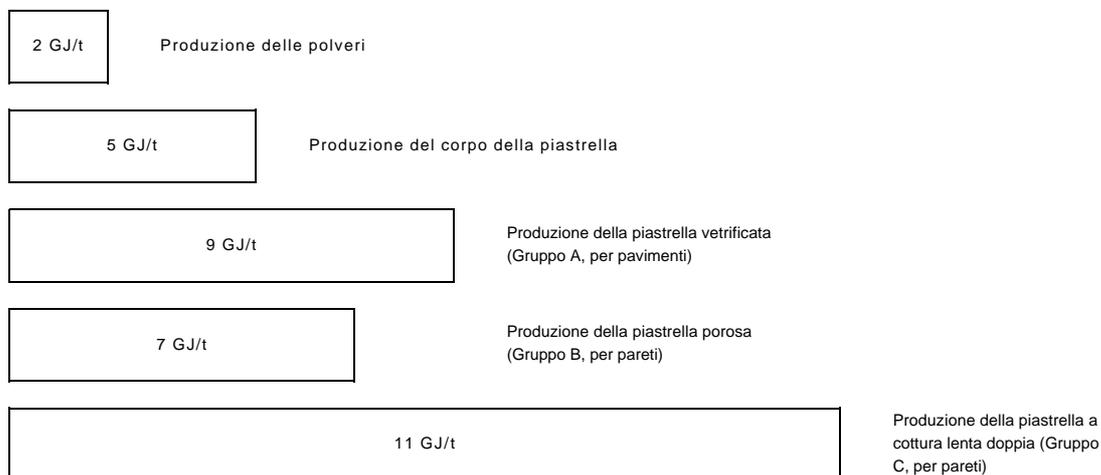


Tavola 11: Proposta dei limiti per il consumo di energia nella produzione di piastrelle ceramiche. (Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

Processi produttivi	Particellato (mg/Nmc)	Fluoro (mg/Nmc)
Macinatura, Formatura	50	
Verniciatura	10	
Asciugatura a spruzzo	50	
Cottura biscotto	7	5
Cottura a smalto e cottura singola	5	5

Condizioni di riferimento:
T=25 °C; P=101,3 kPa

Tavola 12: Proposta di limiti per le emissioni gassose nella produzione di piastrelle ceramiche. (Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

1. CONSUMO DI ACQUA

Lo specifico consumo di acqua - dall'acquedotto o da altri serbatoi - non deve eccedere i:

15 litri/mq di piastrelle prodotte

2. SMALTIMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Devono essere considerate accettabili le seguenti due soluzioni:

- a) *Totale ricircolo e riuso delle acque reflue;*
 b) *Smaltimento, nelle acque di superficie o nelle fognature, delle acque reflue che siano conformi ai seguenti requisiti:*

PARAMETRO/ELEMENTO	UNITA'	VALORE/MASSIMA CONCENTRAZIONE ACCETTABILE
pH		5.5 - 9.5
Materiale più grossolano		assente
Materiale sedimentabile	mg/l	0.5
Materiale in sospensione (totale)	mg/l	80
BOD5	mg/l	40
COD	mg/l	160
Metalli e non metalli tossici (totale)	mg/l	3
Alluminio	mg/l	1
Boro	mg/l	2
Cadmio	mg/l	0.02
Cromo (III)	mg/l	2
Cromo (VI)	mg/l	0.2
Ferro	mg/l	2
Manganese	mg/l	2
Piombo	mg/l	0.2
Rame	mg/l	0.1
Selenio	mg/l	0.03
Stagno	mg/l	10
Zinco	mg/l	0.5
Fluoruri	mg/l	6

Tavola 13: *Proposta dei limiti per i consumi di acqua e la generazione di acque reflue nella produzione di piastrelle ceramiche.*

(Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

3. I FANGHI DELLA PRODUZIONE

Devono essere considerate accettabili le seguenti due soluzioni

- a) *Totale riciclo/riuso dei fanghi*
 b) *Trattamento dei fanghi al fine di renderli inerti*

Tavola 14: *Proposta dei limiti per i fanghi nella produzione di piastrelle ceramiche.*

(Fonte: ENEA-Ministero dell'Ambiente, 1993)

ECOCERTO: IL MARCHIO DEI PRODOTTI E DEGLI IMPIANTI PER LA COSTRUZIONE DI AMBIENTI SALUBRI

Ecocerto è il primo marchio italiano che nasce con l'obiettivo di promuovere in modo attivo tutti quei prodotti edilizi e quei sistemi impiantistici che siano in grado di contribuire in modo effettivo alla salubrità degli ambienti interni. Il marchio, frutto dell'iniziativa di un ente privato e del Politecnico di Milano, è oggi a disposizione delle aziende che producono componenti (materiali ed impianti).

L'analogia con le etichette ecologiche di altri paesi (i già citati Angelo Blu tedesco e NF-Environment francese) risiede nel fatto che anche Ecocerto costituisce un momento di passaggio e di integrazione nei confronti dell'etichetta europea Ecolabel (Regolamento CEE n. 880/92), ma si differenzia perché non si occupa dell'universo dei prodotti industriali bensì di quelli del settore edilizio.

Le condizioni di assegnazione del marchio sono definite per categorie di prodotti; tali categorie sono, a titolo esemplificativo:

- materiali da costruzione primari,
- materiali di completamento e allestimento,
- materiali di finitura,
- materiali ausiliari,
- arredi,
- opere di completamento esterno,
- impianti a rete,
- apparecchi utilizzatori e loro componenti.

I criteri per la valutazione dei prodotti si basano sia sullo schema proposto dal Regolamento CEE sia su uno schema elaborato per valutare gli effetti sull'inquinamento interno, in grado anche di mettere in evidenza le specificità del comparto edilizio (lungo tempo di vita di un prodotto incorporato in una costruzione; l'energia incorporata nel prodotto va valutata sia in relazione al

suo ciclo di vita sia in relazione ai risparmi energetici ottenibili in condizione di esercizio; occorre considerare le modalità di posa o di installazione e le modalità di utilizzo del prodotto che hanno una certa rilevanza).

Attribuendo il giusto peso agli elementi emersi, i consulenti tecnico-scientifici hanno preparato una scheda di valutazione di prodotto (si veda la tavola 15), strutturata per sezioni e contenente elementi utili per:

- l'identificazione del prodotto;
- la caratterizzazione del prodotto (proprietà termiche, acustiche, ottiche; caratteristiche tecniche e di lavorazione; comportamento agli agenti esterni);
- la composizione del prodotto e l'identificazione dei componenti potenzialmente pericolosi;
- la conoscenza del prodotto in opera e le modalità di utilizzo (attenzione per i prodotti che entrano in contatto con gli utenti, che hanno una grande superficie specifica e che comportano operazioni particolari di pulizia e manutenzione);
- la valutazione dei fattori più rilevanti rispetto all'impatto ambientale con riferimento alle voci elencate dal Regolamento CEE n. 880/92.

Una volta individuati tutti gli elementi necessari e compiute le debite verifiche sull'effettiva ecocompatibilità del prodotto, la Commissione di Valutazione e Vigilanza decide sul rilascio del marchio Ecocerto, la cui validità è sottoposta a verifica annuale.

E' importante sottolineare che questa iniziativa permetterà di cominciare ad inventariare tecniche e prodotti sviluppati sia per prevenire o limitare i danni alla salute provocati dall'inquinamento dell'aria degli ambienti confinati che per proteggere l'ambiente, con l'obiettivo di costituire un catalogo di prodotti certificati "puliti".



Tavola 15

SCHEMA - PRODOTTO

Data compilazione:

A) DATI COMMERCIALI

A.1 Tipologia di Prodotto:
 A.2 Denominazione commerciale: *
 A.3 Produttore:
 A.4 Indirizzo:
 Allegare documenti tecnico/pubblicitari

B) CERTIFICAZIONI E MARCHI DI QUALITÀ

B.1 La Vostra azienda è assegnataria di un sistema di qualità? (Allegare):
 B.2 Il Vostro prodotto è assegnatario di marchi di qualità? (Allegare):
 B.3 Il Vostro prodotto è assegnatario di certificati? (Allegare):

C) CARATTERISTICHE TECNICHE

C.1 Materie prime principali e luoghi di origine:
 C.2 Composizione chimico-fisica:
 C.3 Descrizione dei metodi di fabbricazione (allegare in foglio a parte)
 C.4 Caratteristiche morfologiche:
 C.5 Destinazione d'uso:
 C.6 Vita media prevista (durata, eventuali garanzie):

D) CARATTERISTICHE E PROPRIETÀ

<i>Proprietà</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>	<i>Rif. normativo o metodo di prova</i>
D.1 Caratteristiche fisiche				
Caratteristiche geometriche				
Densità				
Peso specifico				

D) CARATTERISTICHE E PROPRIETA' (continua)

<i>Proprietà</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>	<i>Rif. normativo o metodo di prova</i>
D.2 Proprietà termiche				
Conduttività termica				
Resistenza termica				
Calore specifico				
Capacità termica				
Punto di fusione				
Dilatazione termica lineare				
Trasmittanza				
Resistenza al calore				
Cambiamenti fisici o chimici				
D.3 Proprietà acustiche				
Trasmissione acustica				
Riflessione acustica				
Assorbimento acustico				
D.4 Proprietà ottiche				
Colore				
Comportamento alla luce				
Trasmissione della luce				
Riflessione della luce				
D.5 Caratteristiche di lavorazione				
Attitudine a essere tagliato perforato curvato				
Attitudine a essere unito ad altri materiali				
Attitudine a essere trattato in superficie				
Attitudine a essere trasportato e immagazzinato				
Attitudine a essere pulito				
Malleabilità				
Duttilità				

E) COMPORTAMENTO AGLI AGENTI ESTERNI

<i>Prestazione</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>	<i>Rif. normativo o metodo di prova</i>
E.1 Comportamento strutturale e meccanico				
Elasticità				
Rigidezza				
Plasticità				
Resistenza a rottura				
Durezza				
Resistenza a compressione				
Resistenza a trazione				
Resistenza a flessione				
Resistenza a taglio				
Resistenza a torsione				
Resistenza all'urto				
Abrasione				
Attrito				
E.2 Comportamento al Fuoco				
Resistenza al fuoco				
Infiammabilità				
Prodotti della combustione				
E.3 Comportamento in presenza di liquidi				
Tasso di umidità				
Imbibizione				
Permeabilità				
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo				
E.4 Comportamento Elettrico, Elettrostatico, Magnetico e Radioattivo				
Conduttività elettrica				
Resistività elettrica				
Comportamento magnetico				
Comportamento radioattivo				
E.5 Comportamento in presenza di agenti biologici				
E.6 Durabilità				

F) FATTORI DI RISCHIO PER L'INQUINAMENTO INTERNO

<i>Inquinante</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>	<i>Rif. normativo o metodo di prova</i>
Emissione di composti organici volatili (VOC)				
Rilascio di fibre				
Emissione di radon				
Emissione di odori				
Possibilità di degrado (in rel. a usura-temperatura-umidità-agenti chimici o biologici)				
Tendenza alla corrosione				
Fleece-factor				

G) CARATTERISTICHE DELLE EMISSIONI

<i>Inquinante</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>	<i>Rif. normativo o metodo di prova</i>
Valori di emissività				
Tempi di decadimento dopo la messa in opera				
Capacità di assorbimento VOC				

II) EFFETTI SULLA SALUTE

<i>Effetti noti dei suoi costituenti</i>	<i>Evidenza (Si/no)</i>	<i>Considerazioni</i>	<i>Rif. normativo o soglia di rif.</i>
Irritanti			
Allergenici			
Tossico/nocivi			
Carcinogeni-mutageni-teratogeni-fetotossici			
Sul sistema immunitario			
Altri effetti biologici			

I) POSA IN OPERA

<i>Specifiche</i>	<i>Valore (Si/no)</i>	<i>Considerazioni</i>	<i>Riferimento normativo</i>
Modalità di posa in opera			
Trattamenti di finitura richiesti			
Specifiche sui materiali ausiliari			

L) ACCORGIMENTI PER LA POSA IN OPERA

<i>Accorgimento</i>	<i>Valore (Si/no)</i>	<i>Considerazioni</i>	<i>Riferimento normativo</i>
Strumenti di protezione per gli addetti alla posa			
Richiesta di ventilazione durante la posa			
La ventilazione dopo la posa può ridurre le concentrazioni degli inquinanti emessi			

M) UTILIZZO DEL PRODOTTO

<i>Effetti noti dei suoi costituenti</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore (si/no)</i>	<i>Considerazioni</i>	<i>Riferimento normativo</i>
Quantità utilizzata				
Rapporto tra volume del prodotto e superficie esposta				
Contatto diretto con gli occupanti				
Impiego in condotti di aerazione (HVAC)				
Manutenzione programmata (specifiche sui materiali ausiliari)				
Modalità di pulizia (meccanica/detergenti)				

N) IMPATTO AMBIENTALE

<i>Fattore</i>	<i>Pre-produzione</i>	<i>Produzione</i>	<i>Distribuzione</i>	<i>Utilizzo</i>	<i>Smaltimento</i>
Consumo risorse naturali					
Consumo di energia					
Contaminazione acque					
Contaminazione aria interna e atmosfera					
Produzione di rumori					
Produzione di rifiuti					
Packaging					
Effetti sugli ecosistemi					
Riciclaggio/Riutilizzo					

Tavola 15: Struttura della scheda di valutazione di prodotto per il rilascio del marchio Ecocerto. (Fonte: Politecnico di Milano, DIPPE, 1995)

1.2.2 LA LCA PER ANALISI COMPARATIVE: IL CASO OLANDESE SU 4 TIPI DI PAVIMENTI

La LCA può essere utilizzata, in un'ulteriore applicazione, per studi comparativi di ecobilancio.

L'unico esempio di questo tipo di applicazione ai pavimenti in PVC è quello svolto dall'Università di Utrecht (Olanda) che, utilizzando il metodo CML, compara gli impatti ambientali di quattro pavimenti (linoleum, PVC, moquette naturale in lana e moquette sintetica) con l'obiettivo di individuare il meno impattante sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita.

Lo studio nella prima fase predispone una base comune necessaria per poter confrontare i manufatti. A tale scopo sceglie un'unità funzionale che rispecchia le esigenze prestazionali dei pavimenti per una comune unità abitativa olandese e che copre una superficie pari a 1 m^2 ; la durata dei pavimenti è ipotizzata per 15 anni.

In una seconda fase lo studio svolge l'analisi di inventario, per unità funzionale, attraverso 4 fasi distinte: (1) estrazione delle materie prime grezze, (2) manifattura del prodotto, (3) uso del prodotto, (4) dismissione del manufatto post-consumo (tavola 16).

Nella terza fase l'ecobilancio trasforma, attraverso fattori di classificazione riferiti a sostanze-guida, i dati di impatto in 9 effetti ambientali scelti tra quelli proposti dalla CML (vedi tavola 5): deterioramento, energia totale richiesta, riscaldamento del globo, acidificazione, formazione di ossidanti fotochimici, deterioramento dello strato di ozono, eutrofizzazione, rifiuti, danno alla salute umana. Tale trasformazione consente di ottenere i profili ambientali dei quattro pavimenti considerati (per maggiori dettagli sulle procedure di calcolo si veda il paragrafo 2.1.1).

Nella quarta fase viene rappresentato il confronto fra i profili ottenuti per determinare quale fra i prodotti considerati è il meno impattante. Il linoleum è risultato il pavimento che impatta meno fra quelli indagati (tavola 17).

	LINOLEUM	PVC	MOQUETTE IN LANA	MOQUETTE SINTETICA
Materiali costituenti (grammi)				
Iuta	266			
Olio di lino	570			
Colofonio	199			
Legno	434			
Sughero	434			
Pietra calcarea	434	502	2238	2238
Pigmenti	109	10		
Polivinilcloruro		1673		
Plasticanti		1004		
Fibre di vetro		112		
Solventi		84		
Filato in lana			1950	
Filato in poliammide				1230
Polipropilene			246	246
Stirene e butadiene			875	875
Energia totale richiesta (MJ)				
Feedstock		97.5	48.4	154.3
Energia di processo richiesta				
Energia del gas naturale	11.4	29.4	16.3	16.3
Energia elettrica	11.2	-10.1	-1.1	-1.2
Energia altre fonti	12.8	83.3	69.9	151.0
Energia per trasporto via mare	0.6			
Energia per trasporto via costa	0.1			
Energia per trasporto via terra	0.05			
Energia per trasporto stradale	3.2	3.3	16.0	9.0
Rifiuti (grammi)				
Non chimici	1480	2040	3420	2770
Chimici	400	600	590	645
Emissioni nel suolo (grammi)				
Nitrogeno			84	
Fosforo			487	
Emissioni in aria (grammi)				
Polvere	32.9	38.5	164.7	163.4
CO2	2560	9100	8500	13400
CO	4.6	13.5	15.1	16.1
NOX	8.3	13.0	213.7	106.7
N2O		1.0	0.4	0.4
SO2	3.6	12.0	24.8	6.3
CxHy	7.3	31.1	22.2	31.0
Solventi	2.8	16.8		
Metano			3373	
Etilene			0.005	0.005
Aromatici (CxHy)		0.06	0.000	6.8
DEPH		0.002		
Stirene			0.1	0.1
CxHyCl2		0.001		
C2Cl4			0.3	0.3
CH2O		0.001		
Aldeide		0.01		
Fenoli		0.001		
F		0.1		
HCl		170.5		
NH3		0.03	0.000	0.000
Hg		0.000		
Pb + Zn		0.001		
B2O5		0.3		
Pesticidi	0.2			
Emissioni in acqua (grammi)				
Sostanze sospese		1.1	2.4	
Composti organici sospesi	0.1	0.002	0.002	
Solventi inorganici	75.7	33.0	87.1	
Solventi organici	7.0	0.2	19.9	
Composti organici clorurati	0.03			
Olii	0.6	0.4	0.8	
Fenoli	0.01	0.004	0.02	
F	0.04	0.001	0.002	
Hg	0.000			
DEPH	0.006			
CO	0.01			
Metalli pesanti	0.0002			

	LINOLEUM	PVC	MOQUETTE IN LANA	MOQUETTE SINTETICA
Energia totale richiesta				
Feedstock	-	97	48	154
Energia di processo	40	106	109	175
Riscaldamento del globo (gr. CO2 eq.)	2600	9500	45700	13500
Eutrofizzazione (gr. PO4 -3 eq.)	1	2	1550	14
Acidificazione (gr. SO2 eq.)	10	170	170	80
Formazione ossidanti fotochimici (gr. etilene eq.)	4	18	32	17
Rifiuti (gr.)				
Rifiuti chimici	400	600	600	650
Rifiuti non chimici	1500	2000	3400	2800

Tavola 17: *Profili ambientali del linoleum, PVC, della moquette in lana e della moquette sintetica.*
(Fonte: Potting J., Blok K., 1994)

Capitolo 2

LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Il Capitolo illustra con maggiore dettaglio la parte di LCA relativa all'analisi e alla valutazione degli impatti attraverso l'approfondimento del metodo CML (Centre for Environmental Science) che ha definito dei fattori di classificazione per trasformare i dati di inventario in punteggi d'effetto. Nel Capitolo si indaga la possibilità operativa di utilizzare tale metodo.

2.1 IL METODO DI ANALISI E DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DELLA CML

E' importante a questo punto vedere con maggior dettaglio come è attualmente affrontata la parte di analisi degli impatti (classificazione, caratterizzazione, valutazione) perchè essa rappresenta lo snodo critico di un'azione di qualificazione.

Non tutti i metodi esistenti affrontano in modo approfondito la fase di valutazione; ad esempio, i diversi sistemi di etichettatura ecologica, illustrati nel paragrafo 1.2, scelgono di utilizzare alternativamente come criteri di valutazione:

- i dati statistici delle produzioni oggetto di studio (Ecolabel EC sulle ceramiche),
- i riferimenti normativi, dove presenti.

Invece esiste un lavoro molto significativo in questa direzione elaborato dalla CML (Centre for Environmental Science - Lieden) la quale ha definito degli appositi fattori di classificazione degli impatti e delle procedure successive di stesura di profili ambientali.

2.1.1 I FATTORI DI CLASSIFICAZIONE ED IL CALCOLO DEI PUNTEGGI D'EFFETTO

I fattori di classificazione sono dei valori da applicare ai diversi impatti rilevati nell'inventario (per es. alle diverse sostanze emesse) per trasformarli in effetti ambientali (effetto serra, acidificazione, eutrofizzazione, etc.) attraverso il riferimento a sostanze equivalenti.

Si consideri per es. l'effetto ambientale "Deterioramento dello strato di ozono" che è generato dalle emissioni nell'atmosfera di numerose sostanze (CCl_4 , Halon). La sostanza di riferimento è il CFC_{11} che si considera pari a 1: i fattori di classificazione sono in questo caso i valori per i quali è possibile moltiplicare le altre sostanze per trasformarle in grammi di CFC_{11} equivalente. Tra le sostanze considerate, per esempio, vi è il CCl_4 che ha un fattore di classificazione pari a 1,08 gr di CFC_{11} equivalente; per computare l'effetto ambientale si dovranno quindi moltiplicare i grammi di CCl_4 emessi da un dato prodotto in una certa fase (da inventario) per 1,08. Ciò consente, dato un inventario, di trasformare, attraverso i fattori di classificazione, tutte le sostanze emesse negli effetti ambientali inclusi nei modelli CML.

Il passaggio successivo previsto dai metodi di valutazione CML è il calcolo dei punteggi di effetto che servono a quantificare il contributo di un impatto a un determinato effetto ambientale e può essere determinato mediante un'equazione del tipo

$$\Delta y = \text{fattore di classificazione} \times \Delta x$$

dove: Δy (detto "punteggio d'effetto")= il contributo a un dato problema ambientale,
 Δx = magnitudo dell'impatto (da inventario).

Si parte quindi dalla tabella d'inventario o tavola degli impatti per convertire gli impatti in effetti applicando l'equazione appena descritta e utilizzando i fattori di classificazione che variano a seconda del problema ambientale considerato. Di seguito vengono riportate le equazioni standard previste dal modello CML.

- L'effetto serra esprime il contributo diretto potenziale delle sostanze emesse al riscaldamento del globo (GWP - Global Warming Potential). Il GWP esprime l'effetto nel tempo di una sostanza sull'assorbimento di calore da parte dell'atmosfera rapportato all'effetto della sostanza di riferimento (la CO₂) e dipende dalle concentrazioni precedenti delle sostanze nell'atmosfera.

$$\text{effetto serra (kg)} = \sum_i \text{GWP}_i \times \text{emissione}_i \text{ in aria (kg)}$$

Qui il punteggio d'effetto è espresso in kg di CO₂ equivalente.

- Per le sostanze che contribuiscono all'assottigliamento dello strato di ozono i parametri sono stati sviluppati nella forma di un potenziale di deterioramento dell'ozono (ODP - Ozone Depletion Potential), che usa il CFC₁₁ come riferimento. L'ODP esprime il rapporto tra il deterioramento dell'ozono causato in 1 anno da una certa sostanza ed il deterioramento dell'ozono causato da un'eguale quantità di CFC₁₁ :

$$\text{deterioramento dell'ozono (kg)} = \sum_i \text{ODP}_i \times \text{emissione}_i \text{ in aria (kg)}$$

Il punteggio d'effetto è espresso qui in kg di CFC₁₁ equivalente.

- Per la tossicità umana i fattori di classificazione vengono calcolati come prodotto tra il fattore d'esposizione e il fattore d'effetto, a loro volta suddivisi in tre parti, a seconda che il veicolo sia l'aria, l'acqua o il suolo. Questi tre fattori d'effetto vengono calcolati in generale usando i valori di ADI (dose

giornaliera accettabile), definiti dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), e i valori di TDI (dose giornaliera tollerabile), definiti dal RIVM (National Institute of Public Health and Environment Protection). Per le sostanze cancerogene genotossiche viene usato il livello di massimo rischio tollerabile. Quando è possibile vengono usati i valori di TCL (concentrazione tollerabile in aria) o le linee guida per la qualità dell'aria per determinare il fattore di classificazione per l'aria.

Per l'assunzione orale di inquinanti attraverso l'acqua viene usato l'ADI o i TDI (quando sono disponibili entrambi e differiscono, viene usato il TDI).

Per il suolo si utilizza il TDI per calcolare il fattore di classificazione, dato che non è possibile utilizzare l'ADI.

I tre fattori di classificazione tossicologica umana dipendono dalla sostanza e dal veicolo ambientale considerato: per l'atmosfera l'HCA, per l'acqua l'HCW e per il suolo l'HCS. L'unità del punteggio d'effetto sono i kg di peso del corpo esposti al limite tossicologicamente accettabile:

$$\text{tossicità umana (kg)} = \sum_i \left(\begin{array}{l} \text{HCA}_i \text{ (kg x kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissione}_i \text{ in aria (kg)+} \\ \text{HCV}_i \text{ (kg x kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissione}_i \text{ in acqua (kg)+} \\ \text{HCS}_i \text{ (kg x kg}^{-1}\text{)} \times \text{emissione}_i \text{ nel suolo (kg)} \end{array} \right)$$

L'HCA (ma anche gli altri fattori di classificazione per acqua e suolo) è uguale a kg di peso corporeo / kg di sostanza tossica.

Il fattore d'esposizione è valido a livello mondiale ed è stato calcolato facendo le seguenti assunzioni di principio:

- che il volume respiratorio giornaliero sia 20 m³ di aria a persona;
- che l'assunzione d'acqua giornaliera sia di 2 litri a persona;
- che il peso medio sia 70 kg;
- che la popolazione mondiale sia di 5 x 10⁹ persone.

Il fattore d'effetto, che poi, moltiplicato per il fattore di esposizione, dà il fattore di classificazione, rappresenta la quantità di peso corporeo che è esposta al TCL a un'assunzione giornaliera di 1 kg della sostanza in questione per via respiratoria.

Il punteggio d'effetto finale (*tossicità umana*) viene qui espresso in kg di peso corporeo e rappresenta il peso di corpo umano contaminato al limite massimo giornaliero accettabile in conseguenza della produzione dell'unità funzionale.

- La valutazione delle sostanze con un effetto ecotossico sulle specie nell'ecosistema, affrontata attraverso l'approccio dei volumi critici, è basata sulle concentrazioni massime tollerabili (MTCs) determinate in accordo col metodo EPA (Environmental Protection Agency): la definizione degli MTC è stata basata sul concetto che almeno il 95% degli esseri viventi negli ecosistemi acquatici o terrestri devono essere protetti.

L'MTC genera due gruppi di fattori di classificazione ecotossicologica: uno per gli ecosistemi acquatici (ECA) e uno per gli ecosistemi terrestri (ECT).

L'MTC (Maximum Tolerable Concentration) è espresso in mg di sostanza per m³ di acqua per i sistemi acquatici e in mg di sostanza per kg⁻¹ di suolo per i sistemi terrestri. L'ECA e l'ECT sono uguali a 1/MTC. Il punteggio d'effetto per l'ecotossicità acquatica è espresso in m³ di acqua inquinata alla massima concentrazione tollerabile (MTC):

$$\text{ecotossicità acquatica (m}^3\text{)} = \sum_i \text{ECA (m}^3 \times \text{mg}^{-1}\text{)} \times \text{emissione}_i \text{ in acqua (mg)}$$

e per gli ecosistemi terrestri in kg di suolo inquinati alla massima concentrazione tollerabile (MTC):

$$\text{ecotossicità terrestre (kg)} = \sum_i \text{ETC (kg} \times \text{mg}^{-1}\text{)} \times \text{emissione}_i \text{ nel suolo (mg)}$$

I due punteggi d'effetto per la tossicità acquatica e per la tossicità terrestre non si possono sommare fra di loro.

- I parametri del potenziale di creazione di ozono fotochimico, sviluppati per alcune sostanze che contribuiscono alla formazione degli ossidanti fotochimici, si esprimono attraverso un singolo punteggio d'effetto.

Tra gli ossidanti fotochimici l'ozono è il più importante: il POCP è una misurazione relativa che usa l'etilene (C_2H_4) come riferimento, e in particolare esprime il grado in cui un'unità di massa di una sostanza forma ossidanti comparata a un'unità di massa di etilene. Il POCP di un'emissione è infatti il rapporto tra il cambiamento nella concentrazione di ozono dovuta a un cambiamento nell'emissione di quel VOC e il cambiamento nella concentrazione di ozono dovuta a un cambiamento nell'emissione di etilene. Il POCP è stimato come la quantità di ozono prodotto. Il modello serve per stimare la produzione di ozono fotochimico. Questo significa che, diversamente dai potenziali ODP e GWP, il calcolo non dà come risultato un effetto dovuto a un cambiamento marginale nelle emissioni, ma la curva emissioni-effetto si presenta come una linea retta attraverso l'origine (si tratta di una approssimazione estremamente grossolana).

In questo modo si può stimare la formazione di ossidanti dovuta alle emissioni atmosferiche (in kg):

$$\text{formazione di ossidanti (kg)} = \sum_i \text{POCP} \times \text{emissione}_i \text{ in aria (kg)}$$

Il range nei valori del POCP indica l'incertezza associata all'approccio POCP (troppo grossolano).

Il punteggio d'effetto è qui espresso in kg di ossidanti tra cui il più importante è l'ozono.

Le emissioni di NO_x sono da segnalare, anche se non è stato per queste definito un POCP.

- Il contributo all'acidificazione generato da diverse forme di intervento sull'ambiente può essere determinato attraverso la ponderazione con potenziali di acidificazione (AP - Acidification Potential) che sono una misura della predisposizione a rilasciare H⁺ comparata a quella dell'anidride solforosa (SO₂). Le emissioni atmosferiche (in kg) vengono convertite, usando l'AP, in emissioni di anidride solforosa (in kg) che danno vita ad un'acidificazione equivalente:

$$\text{acidificazione (kg)} = \sum_i AP_i \times \text{emissione}_i \text{ in aria (kg)}$$

Il punteggio d'effetto qui è espresso in kg di SO₂ con lo stesso effetto di potenziale acidificante delle sostanze emesse.

- Il contributo alla eutrofizzazione, generato da diverse forme di intervento sull'ambiente, può essere determinato attraverso la ponderazione con potenziali di eutrofizzazione adimensionali (NP - Nutrification Potential) che sono una misura della capacità di formare biomasse, comparata con il fosfato (PO₄³⁻). Le emissioni in aria, acqua o suolo (in kg) vengono convertite, usando l'NP, in un'emissione di fosfato (in kg) equivalente in termini di eutrofizzazione:

$$\text{eutrofizzazione (kg)} = \sum_i NP_i \times \text{emissione}_i \text{ (kg)}$$

I BOD e COD (domanda di ossigeno biologica e chimica) vengono espressi in kg di O₂.

- Siccome gli effetti esaustivi dell'uso dello spazio sono inestricabilmente connessi con gli effetti della dislocazione, essi vengono combinati in un unico punteggio d'effetto. Durante l'inventario vengono raccolte fino a un massimo di dieci forme d'intervento di questa natura: le categorie I, II e III vengono considerate "naturali" e le categorie IV e V "innaturali". Così le dieci forme d'intervento vengono combinate in un singolo punteggio d'effetto con l'unità $m^2 \times s$:

$$\begin{aligned}
 \text{danno } (m^2 \times s) = & \quad \text{uso dello spazio}_{I-IV} (m^2 \times s) + \\
 & \quad \text{uso dello spazio}_{I-V} (m^2 \times s) + \\
 & \quad \text{uso dello spazio}_{II-IV} (m^2 \times s) + \\
 & \quad \text{uso dello spazio}_{II-V} (m^2 \times s) + \\
 & \quad \text{uso dello spazio}_{III-IV} (m^2 \times s) + \\
 & \quad \text{uso dello spazio}_{III-V} (m^2 \times s)
 \end{aligned}$$

- L'esaurimento delle materie prime abiotiche viene stimato comparando la quantità netta utilizzata di ciascun materiale con le riserve di quel materiale:

$$\text{deterioramento abiotico} = \sum_i \frac{\text{uso del materiale}_i \text{ (kg)}}{\text{riserve materiale}_i \text{ (kg)}}$$

Il punteggio d'effetto qui ottenuto è senza dimensioni.

- L'esaurimento delle materie prime biotiche viene valutato comparando la quantità netta utilizzata di ciascun materiale con le sue riserve e il tasso riserve/produzione, che insieme forniscono un fattore di deterioramento biotico. Il consumo di risorse è messo in relazione con le riserve recuperabili e con la produzione annuale di tali riserve.

Una volta effettuati i calcoli sopra descritti, i dati d'inventario di un'unità funzionale sono stati aggregati per problema ambientale generato e trasformati in punteggi d'effetto. Poiché tutti i punteggi differiscono tra loro per unità di misura, se si ha l'obiettivo di redigere un profilo ambientale del prodotto che valuti il suo impatto ambientale complessivo (non la somma dei singoli effetti), è necessario esprimere tutti i punteggi d'effetto nella medesima unità di misura, attraverso un'operazione detta di normalizzazione. La normalizzazione omogeneizza i differenti impatti convertendoli tutti in "incidenza ambientale" espressa in anni (vedi gli esempi che seguono): a questo scopo ogni punteggio d'effetto deve essere diviso per il contributo globale di una data comunità al medesimo effetto secondo la seguente espressione matematica:

$$\text{punteggio d'effetto normalizzato (anno)} = \frac{\text{punteggio d'effetto (kg)}}{\text{volume annuale (kg x anno}^{-1}\text{)}}$$

Vediamo un esempio:

$$\frac{\text{effetto serra} = 10 \text{ kg CO}_2}{\text{contributo della comunità} = 10^4 \text{ kg CO}_2/\text{anno}} = 10^{-3} \text{ anni (punteggio normalizzato)}$$

Un altro esempio:

$$\frac{\text{deterioramento dell'ozono} = 100 \text{ kg CFC}_{11}}{\text{contributo della comunità} = 5 \times 10^3 \text{ kg CFC}_{11}/\text{anno}} = 5 \times 10^{-1} \text{ anni (punteggio normalizzato)}$$

Tutti gli impatti risultano così espressi in anni e diviene possibile redigere un unico profilo ambientale che li comprenda tutti.

La scala della comunità il cui contributo va indicato al denominatore nella formula della normalizzazione dovrebbe variare in relazione al tipo di effetto considerato e in particolare al sistema di meccanismi che ne sono all'origine: per esempio per l'effetto serra, che è un effetto che riguarda tutto il pianeta, occorre considerare il contributo di tutta la comunità mondiale; per l'eutrofizzazione invece è necessario considerare la scala territoriale locale riferendosi allo specifico fiume in questione.

2.1.2 LA VALUTAZIONE DEL PROFILO AMBIENTALE

La valutazione del profilo ambientale può essere correttamente effettuata applicando ai vari effetti ambientali diversi fattori di ponderazione atti ad esprimere la significatività relativa degli uni rispetto agli altri: questo implica che i vari effetti ambientali vengano moltiplicati ciascuno per uno specifico fattore di ponderazione.

La legittimità di questa operazione è legata all'esistenza di un certo consenso circa i fattori di ponderazione utilizzati. I criteri secondo quali sono stati stabiliti i fattori di ponderazione più avanti presentati sono i seguenti (EPA, 1990):

- 1) scala spaziale degli impatti (globale, regionale, locale - la grande dimensione viene considerata peggiore della piccola);
- 2) serietà del rischio (il peggiore è più tossico, più pericoloso, più dannoso);
- 3) grado di esposizione (le sostanze ben "sequestrate" - isolate - causano minor preoccupazione delle sostanze prontamente mobilizzate);
- 4) penalità per essere peggiori (tempi più lunghi di ripristino causano maggior preoccupazione);

5) condizione dei recettori ambientali interessati (un recettore già sovraccarico presenta più problemi rispetto a uno meno carico - viene assegnato il punteggio massimo al peggiore impatto e gli altri impatti vengono classificati in modo relativo rispetto al massimo).

Ogni criterio fornisce un punteggio: per determinare il fattore finale di ponderazione per ciascuna area di problema ambientale viene calcolata una media dei punteggi derivanti da ciascun criterio.

Dato quindi un set prestabilito di fattori di ponderazione, come quello esposto nella tabella che segue, l'operazione di moltiplicare ciascun effetto ambientale per lo specifico fattore di ponderazione appare veloce e di semplice attuazione.

I fattori di ponderazione consentono di individuare le fasi di vita del prodotto maggiormente impattanti poiché a ciascun problema ambientale viene associato, con una scelta di tipo politico, un diverso "peso" ambientale.

Fattori di ponderazione per 10 problemi ambientali (EPA, 1990)

Distruzione / deterioramento dell'habitat (perdita di biodiversità)	88
Riscaldamento globale	80
Distruzione dell'ozono stratosferico	90
Erosione del suolo	19
Deterioramento delle riserve d'acqua fresca	12
Deposizione acida (piogge acide)	24
Inquinamento / smog dell'aria delle città	26
Inquinamento delle acque superficiali	25
Inquinamento di suolo e delle acque di falda	35
Depauperamento delle riserve minerali (specialmente petrolio e alcuni metalli)	50

La valutazione del profilo ambientale può essere affrontata secondo due approcci diversi:

- l'aggregazione delle singole voci d'impatto listate nell'inventario in base all'effetto ambientale cui ciascuna di esse contribuisce;
- il confronto diretto delle singole voci d'impatto con gli standard legali, disponibili essenzialmente per le emissioni.

L'aggregazione degli impatti e la loro conversione in sostanze di riferimento, effettuata nella classificazione, con la successiva definizione dei punteggi d'effetto, fornisce attraverso la normalizzazione le possibilità di:

- effettuare un confronto immediato degli impatti principali di più alternative di prodotto mediante la visualizzazione dei parametri o punteggi d'effetto in un grafico a barre che evidenzia i problemi ambientali sui quali il prodotto incide maggiormente;
- individuare, mediante l'utilizzo dei fattori di ponderazione, le fasi di vita più impattanti: possono essere definite tali quelle che contribuiscono in modo maggiormente significativo, in termini relativi, agli effetti che vengono ritenuti con ampio consenso i più "pesanti" (con fattore di ponderazione più alto), cioè i più preoccupanti per l'ambiente ai vari livelli possibili in cui quest'ultimo può essere considerato: in pratica, nell'istogramma la barra sarà tanto più alta quanto più rilevante sarà non solo l'impatto in sé (la "voce" nell'inventario), ma anche il punteggio d'effetto normalizzato e il fattore di ponderazione assegnato a quel dato impatto;
- compiere una valutazione dell'incidenza del singolo prodotto sugli impatti in termini di consumi di risorse ed emissioni inquinanti generati a livello globale da una comunità (il cosiddetto "annual volume" che compare nella formula della normalizzazione) più o meno estesa allo scopo di stabilire il contributo che la singola unità funzionale dà all'impatto totale proveniente dal complesso delle attività industriali che si svolgono in una certa comunità.

Questa valutazione deve essere effettuata tenendo conto che i vari effetti degli impatti sull'ambiente si verificano a diversi livelli territoriali (es: l'effetto serra a livello mondiale, l'eutrofizzazione a livello locale) e che quindi l'"impatto totale" è individuabile di volta in volta a scale diverse. Nell'ipotesi che siano stati precedentemente fissati degli "obiettivi di minore impatto" sia come consumi che come emissioni, la valutazione del prodotto può essere completata con una stima della conformità degli impatti dell'unità funzionale a questi obiettivi di contenimento stabiliti a un livello più esteso;

- effettuare un'analisi di miglioramento volta a intervenire sulle fasi precedentemente individuate come maggiormente impattanti al fine di ridurre sempre più i loro contributi negativi all'ambiente (per es. attraverso il perfezionamento delle tecnologie impiegate).

Il confronto diretto delle singole voci d'impatto con gli standard legali non costituisce invece una vera e propria valutazione, in quanto i limiti fissati per le emissioni al camino degli impianti industriali devono essere necessariamente rispettati (e la verifica consiste in un continuo monitoraggio) perché la produzione possa avere luogo. Il punto critico qui è la definizione degli standard che si rivela un atto precipuamente politico in quanto viene fatta sulla base della conoscenza delle migliori tecnologie disponibili e della loro effettiva diffusione. Di fatto non viene effettuata la ponderazione dell'importanza reciproca degli effetti ambientali che entrano in gioco, anche perché il passaggio che conduce dagli impatti ai parametri o effetti ambientali non ha luogo qui.

2.2 LIMITI DI APPLICABILITA' DEI METODI DI VALUTAZIONE

Abbiamo visto nel paragrafo precedente che per la valutazione degli effetti ambientali occorre mettere in rapporto i dati di inventario con valori di riferimento: per esempio, l'incidenza delle emissioni di CO₂ nel ciclo di vita di un prodotto deve essere messa in relazione con il contributo di CO₂ della comunità in cui viene prodotto; oppure, nel caso di altre sostanze tossiche per l'uomo o per l'ambiente, con i volumi critici². E così per tutti gli effetti ambientali.

Di fatto tali valori (contributi globali, volumi critici, etc.) non sono disponibili né reperibili con facilità. Vediamo qualche esempio.

Disponibilità di dati sui contributi globali delle principali emissioni in aria e sull'ammontare delle riserve energetiche

Dal testo "Principles of Environmental Toxicology" di S. Zakrewsky sono stati tratti i seguenti dati sulle emissioni dei principali inquinanti urbani nel 1985 in USA:

	Emissione annuale (in milioni di ton. metriche)	Percentuale su tutti gli inquinanti	Principali fattori contribuenti
CO	67,5	48	trasporto (70%)
SO ₂	20,7	15	elettrogenazione (69%)
NO _x	20,0	15	trasporto (45%) elettrogenazione (34%)
HC ⁽¹⁾	21,3	16	trasporti (28%)
PT ⁽²⁾	7,3	5	industria (37%)
Piombo	0,021	-	trasporti (69%)

(1) Idrocarburi (tra cui anche i VOC)

(2) Particelle

² I volumi critici sono i volumi di acqua o di suolo necessari per "diluire" l'inquinante fino ad una concentrazione tale da assicurare la normale sopravvivenza di almeno il 95% degli esseri viventi negli ecosistemi acquatici o terrestri.

- CO₂

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂ si stima che le emissioni totali di CO₂ dei Paesi Europei nel 1991 siano state di 2.600 Mton.

Secondo l'EIA (Energy Information Administration) invece, i gas serra totali da attività umane in U.S.A., tra cui la CO₂ è il gas dominante con circa l'85% delle emissioni ponderate di Global Warming Potential, sono arrivate a 1.644 milioni di tonnellate metriche tra il 1990 e il 1993, con un aumento annuo dello 0,6 per cento. Si stima che le emissioni di CO₂ siano arrivate a 1.400 milioni di tonnellate metriche.

La fonte IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) afferma infine che le emissioni totali nel mondo di CO₂ possono essere ampiamente ridotte: da 6.000 milioni di tonnellate metriche di Carbonio nel 1990 si potrebbe scendere a circa 4.000 milioni di tonnellate metriche nel 2050 e a 2.000 milioni di tonnellate metriche nel 2100. Un'altra fonte (Zakrewsky, 1991) segnala che le emissioni annuali di carbonio da combustione di combustibili fossili e legno nel mondo è arrivata a 5.000 milioni di tonnellate nel 1987 (nel 1860 erano 83 milioni di tonnellate: l'aumento si è verificato nella maggior parte negli ultimi 30 - 40 anni).

- SO₂

Per quanto riguarda le emissioni di SO₂, si stima che alla fine degli anni '80 l'emissione annua mondiale di SO₂ sia stata pari a 150 milioni di tonnellate, di cui 60 milioni in Europa e 3,5 milioni in Italia. Per l'anno 1980 l'emissione di SO₂ per l'Italia è stata stimata pari a 3.368.000 tonnellate.

- Per quanto riguarda la disponibilità di riserve di combustibili a livello mondiale, si stima che esse ammontino alle seguenti quantità:

- riserve greggio: 123,559 Mton (≈ 32,5 anni)
- riserve metano (gas naturale): 109,326 x 10⁹ m³ (≈ 58,7 anni)

Da quanto sopra illustrato si deduce che il metodo di valutazione degli impatti della CML risulta non molto praticabile perché, per ottenere l'incidenza ambientale di un determinato impatto (fase di normalizzazione), occorre che il punteggio d'effetto sia diviso per il contributo globale di una data comunità al medesimo effetto e i dati sui contributi delle comunità sono di difficile reperibilità.

Il metodo può essere utile per operare comparazioni di prodotti per i quali si può escludere la fase di normalizzazione, ma non può essere utilizzato per valutare l'impatto ambientale complessivo di un solo prodotto che richiede il confronto delle singole voci di impatto con dei valori di riferimento.

Nel Capitolo che segue si individua una possibile strada alternativa.

Capitolo 3

ESIGENZE DI NUOVI STRUMENTI DI ANALISI AMBIENTALE

Nel Capitolo si analizza la necessità di proporre un nuovo strumento per la caratterizzazione ambientale dei prodotti da costruzione che tenga conto delle specificità di questi ultimi e delle difficoltà di applicazione dei metodi illustrati nei Capitoli precedenti.

3.1 LA SPECIFICITA' DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

La LCA è stata applicata finora nella valutazione dei prodotti industriali, ma recentemente sono state sviluppate numerose iniziative sia a livello di ricerca sia nel campo della regolamentazione anche nel settore edile.

Il settore dei prodotti da costruzione rappresenta tuttavia un caso a sé poiché ha alcune specificità.

Innanzitutto le fasi del ciclo di vita sono più articolate: in particolare prima di entrare nella fase "Utilizzo" il prodotto edilizio passa attraverso la "Messa in opera", fase presente quasi solo in questo settore, durante la quale esso viene assemblato con una serie di altri prodotti e successivamente, nel corso della

vita utile dell'edificio, viene trattato con altrettante svariate sostanze di pulizia, manutenzione e riparazione.

Anche nella fase "Riciclo o Smaltimento" il prodotto da costruzione il più delle volte è abbinato ad altri prodotti: si pensi ai blocchi per le murature assemblati in sistemi di chiusura verticale con tecnologie irreversibili (malte umide) e con prodotti molto differenti (gli isolanti, le finiture, etc.); si pensi ai rivestimenti (ceramiche, PVC, moquette, etc.) incollati su supporti verticali ed orizzontali.

Un'altra specificità del settore edile consiste nel fatto che molti prodotti con la loro presenza danno un contributo positivo ad altri aspetti ambientali: è il caso di alcuni materiali isolanti, per la cui valutazione occorre bilanciare l'impatto che hanno nella fase della produzione, a causa per esempio dell'utilizzo di componenti ad emissioni nocive, con il contributo positivo che danno in termini di risparmio energetico complessivo dell'edificio.

Occorre poi considerare la durata dei prodotti da costruzione: alcuni componenti hanno durata pari a quella dell'edificio, vale a dire molto più lunga di un qualsiasi altro prodotto industriale, mentre altri hanno durate inferiori e subiscono riparazioni nel tempo. Il fattore durata, sempre parlando di unità funzionali, è molto importante nella valutazione di qualità ambientale: è infatti evidente che un breve ciclo di vita inficerebbe il basso impatto ambientale di un prodotto, mentre al contrario il peso di un impatto negativo è meno importante se il prodotto in questione ha una lunga durata.

Infine un gran numero di operatori prende parte al ciclo di produzione del componente edilizio, includendo gli addetti al trasporto, alla costruzione, alla manutenzione, alla demolizione, i progettisti ed i successivi utilizzatori dell'edificio, etc. (Morfini L. in AA.VV., 1995).

La tavola 18 schematizza il ciclo di vita dei prodotti edilizi.

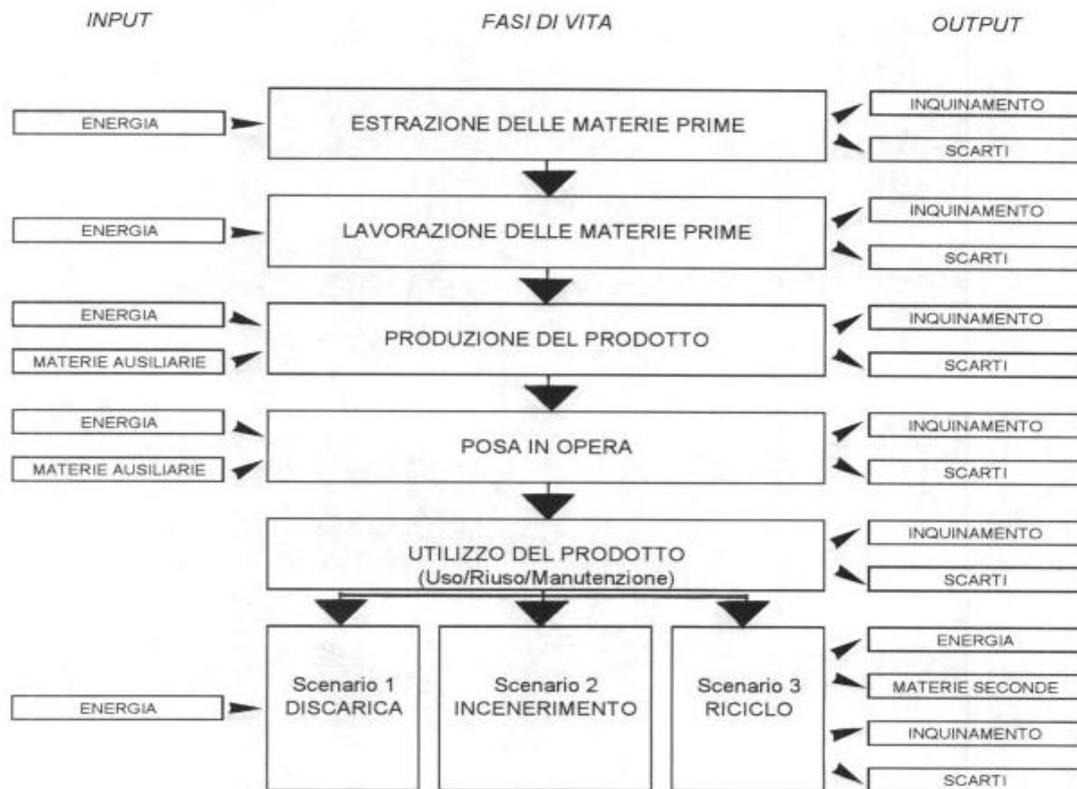


Tavola 18: Schema del ciclo di vita dei prodotti edili.
(Fonte: Nostra elaborazione)

Dalle analisi fin qui svolte sulla LCA per i prodotti da costruzione emergono alcune considerazioni che possono essere così sintetizzabili:

- finora i principali metodi di analisi hanno rivolto la loro attenzione alle fasi di “reperimento delle materie prime” e di “produzione”; non esistono strumenti che considerano gli impatti di tutto il ciclo di vita in modo integrato, tanto meno in edilizia, inoltre non sono stati ancora ben definiti parametri adeguati per quanto riguarda la valutazione della riciclabilità dei prodotti o la loro corretta smaltibilità;
- la specificità del settore delle costruzioni determina la necessità di definire strumenti che tengano conto delle modalità di utilizzo dei prodotti da costruzione con particolare riferimento alle fasi di “messa in opera”, “uso” e “dismissione”;

- in edilizia, le fasi di vita successive alla produzione sono soggette ad una estrema variabilità sia delle condizioni di applicazione del prodotto (progetto, uso, etc.), sia del mercato del riciclo, sia delle reali possibilità di demolizione.

Queste condizioni si possono spiegare con l'illustrazione di alcuni casi; ad esempio un produttore può mettere a punto un prodotto altamente riciclabile, ma se il progettista lo inserisce in una soluzione non disassemblabile o se le condizioni di mercato sono tali per cui non c'è la convenienza di una demolizione selettiva o per un riciclo del prodotto, la sua riciclabilità è inutile; anche un'attività di valutazione o di certificazione del prodotto in questione diventa un fatto teorico.

Al momento della demolizione dell'edificio o della sostituzione di un componente, si possono presentare più scenari alternativi; il delinearsi di uno scenario rispetto ad un altro dipende in prevalenza dalla configurazione del prodotto che determina il grado di agevolezza del disassemblaggio quale fase preliminare e necessaria al riciclo. I fattori che entrano in gioco sono sostanzialmente la progettazione iniziale del prodotto, le modalità di manutenzione per esso previste come anche la ricettività del mercato rispetto alle materie prime seconde passibili di un nuovo utilizzo. Le scelte iniziali riguardanti il ricorso all'assemblaggio a secco piuttosto che umido, l'utilizzo di leganti o di collanti reversibili, come malte di calce o adesivi con solventi a base di alcool o resine viniliche in soluzione acquosa, e la previsione di poter sostituire solo gli elementi danneggiati, creano le condizioni per il verificarsi o meno del riciclo, facendo mutare lo scenario iniziale.

Date queste constatazioni la valutazione ambientale dei prodotti da costruzione dovrà orientarsi verso i seguenti stadi:

- valutazione della qualità ambientale per gli impatti della produzione: sarà possibile fare riferimento ai parametri e ai sistemi di classificazione degli impatti proposti dai più consolidati strumenti di LCA;

- valutazione della qualità ambientale per gli impatti delle fasi successive: occorrerà definire per ogni fase alcuni <<scenari>> alternativi e fornire gli strumenti di valutazione dei potenziali comportamenti dei prodotti in tali scenari.

Dunque lo strumento di analisi dovrà riguardare in una prima fase le effettive condizioni di produzione del prodotto oggetto di studio ed i relativi impatti, ed in una seconda fase dovrà analizzare gli impatti ambientali del prodotto considerato in differenti scenari potenziali, vale a dire gli impatti che si possono generare lungo le possibili “vite alternative” che il prodotto si troverà ad affrontare come conseguenza delle scelte progettuali e delle condizioni di mercato del riciclo e dello smaltimento.

3.2 INPUT PER LA DEFINIZIONE DI UN NUOVO STRUMENTO DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

L'indagine svolta in questa prima parte della tesi ha portato ad evidenziare l'esigenza di uno strumento specifico per la caratterizzazione ambientale dei prodotti da costruzione che tenga conto delle difficoltà applicative riscontrate.

In particolare si assumono i seguenti orientamenti:

- l'analisi del ciclo di vita è comunque uno strumento molto completo la cui struttura generale consente un'indagine adeguata degli impatti; avendo riscontrato tuttavia la difficoltà di applicare gli effetti ambientali proposti dalle attuali metodologie alla fase di valutazione degli impatti, e in particolare la non disponibilità di valori-limite di riferimento, occorre individuare uno strumento alternativo più pragmatico che utilizzi, dove possibile, i valori-limite di legge e, in alternativa i dati statistici, come nel caso dei criteri di Ecolabel europeo;

- tale strumento deve tenere conto della specificità dei prodotti da costruzione ed operare, come indicato nel paragrafo precedente, per potenziali scenari di vita;
- occorre conoscere in modo approfondito il ciclo di vita della tecnologia scelta come oggetto di applicazione di questo strumento (i pavimenti in PVC), vale a dire descriverne i diversi impatti ed elaborare un relativo inventario per una unità funzionale;
- tale inventario fornirà i dati statistici che risulteranno utili come valori di riferimento per quei casi in cui non è disponibile un'adeguata indicazione per la valutazione.

PARTE SECONDA

IL CICLO DI VITA DEI PAVIMENTI IN PVC

Capitolo 4

DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE OGGETTO DI STUDIO E DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI VITA

Nel Capitolo vengono descritte le tecnologie di produzione delle pavimentazioni in PVC e vengono individuati i tre scenari secondo i quali si può presentare il materiale (teli o quadrotti incollati, piastrelle autoadesive, quadrotti autoposanti) e i tre scenari del prodotto post-consumo (conferimento in discarica, incenerimento, riciclo).

4.1 DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE PRODUTTIVE OGGETTO DI STUDIO

Le pavimentazioni in PVC, insieme alle1 pavimentazioni in gomma e linoleum, hanno sempre occupato una nicchia di mercato legata a particolari destinazioni d'uso: palestre e strutture sportive in genere, spazi collettivi con funzione prevalentemente tecnica (ospedali, stazioni, scuole), spazi specifici del terziario (sale macchine, laboratori chimici, corridoi) ed ambienti industriali, vale a dire contesti ad alto traffico e che necessitano di pulizia rapida e frequente.

I resilienti (PVC, elastomeri, linoleum) infatti, grazie alle caratteristiche di omogeneità sia strutturale sia superficiale, sono materiali particolarmente

resistenti all'usura e facili da mantenere; inoltre la flessibilità e le modalità di posa consentono rapidità di applicazione e di sostituzione degli eventuali elementi deteriorati.

In generale le caratteristiche specifiche di una pavimentazione resinosa sono:

- la resilienza (= capacità di riprendere la forma originaria dopo aver subito un'impronta), che si traduce in una notevole resistenza all'usura, alla abrasione, alla punzonatura ed alla rigatura;
- la flessibilità, che determina una maggiore facilità di applicazione rispetto ad elementi rigidi e consente la posa su superfici particolari (ad esempio su quelle curve);
- la leggerezza;
- lo spessore contenuto che la rendono adatta anche all'impiego in interventi di ristrutturazione, potendo essere sovrapposti alle superfici preesistenti, se opportunamente trattata.

Il materiale si può presentare sotto forma di:

- teli e quadrotte di varie dimensioni: gli elementi vengono generalmente incollati al sottofondo, accostati gli uni agli altri o con particolari elementi di giunzione;
- piastrelle viniliche autoadesive;
- quadrotte autoposanti: esse si fissano a secco tramite un semplice sistema di incastri tra piastrella e piastrella.

Nel panorama dei vinilici i prodotti disponibili si differenziano tra loro per alcune caratteristiche che dipendono dal processo produttivo impiegato, come meglio dettagliato nel Capitolo 5. La materia prima è comunque il PVC (polivinilcloruro) cui vengono aggiunte cariche minerali, plastificanti, additivi inorganici, pigmenti coloranti. La miscela così ottenuta può essere trasformata in lastre o teli, oppure in blocchi prismatici per successive trasformazioni. Le lastre e i teli possono essere in PVC omogeneo o stratificato e a queste due

possibilità corrispondono due diversi processi produttivi e diverse prestazioni sia estetiche sia funzionali.

Le lastre in vinilico omogeneo sono prodotte per semplice calandratura della miscela: i diversi componenti si distribuiscono per tutto lo spessore della lastra e determinano appunto un prodotto omogeneo. Nelle lastre di vinilico stratificato, invece, allo strato in PVC è accoppiata una mousse di materiale espanso più o meno compatto, un rinforzo generalmente in fibra di vetro e, sopra il PVC, uno strato di usura in vinile trasparente e resistente, il cui spessore è variabile da prodotto a prodotto in funzione della destinazione di uso finale e del relativo traffico previsto.

Sono invece ancora vinilici omogenei quelli prodotti in blocchi: si tratta di una produzione destinata alla realizzazione di pavimentazioni antistatiche per le quali si utilizza, tra gli altri componenti, la fibra di carbonio che ha la specifica funzione di disperdere le cariche elettriche che si possono generare sulla pavimentazione (Morfini L., 1992).

4.2 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI NEL CICLO DI VITA DEI PAVIMENTI E TIPI DI DATI UTILIZZATI

L'analisi del ciclo di vita dei pavimenti in PVC prevederà le seguenti fasi:

- 1) descrizione degli impatti per la fase di produzione del polimero;
- 2) descrizione degli impatti per la fase di produzione dei teli;
- 3) descrizione degli impatti per la fase di utilizzo secondo tre scenari:
 - ◆ *scenario 1*: teli continui incollati;
 - ◆ *scenario 2*: piastrelle autoadesive;
 - ◆ *scenario 3*: quadrotte autoposanti.
- 4) descrizione degli impatti per la fase di dismissione dei pavimenti in PVC secondo tre scenari:

- ◆ *scenario 1*: smaltimento (deposito in discarica);
- ◆ *scenario 2*: incenerimento con recupero o meno di energia;
- ◆ *scenario 3*: riciclo.

Lo scenario riguardante il riciclo può essere a sua volta suddiviso in:

- riciclo meccanico, che consiste nella rilavorazione dei rifiuti di PVC che tornano ad essere utilizzati nel settore delle materie plastiche;
- riciclo chimico, il cui scopo è quello di provocare una rottura controllata delle catene polimeriche in modo da ottenere frazioni a basso peso molecolare riutilizzabili in una nuova polimerizzazione.

La descrizione più dettagliata degli scenari legati al ciclo di vita dei pavimenti in PVC verrà fatta nel Capitolo seguente.

La tavola 19 illustra il ciclo di vita dei pavimenti in PVC.

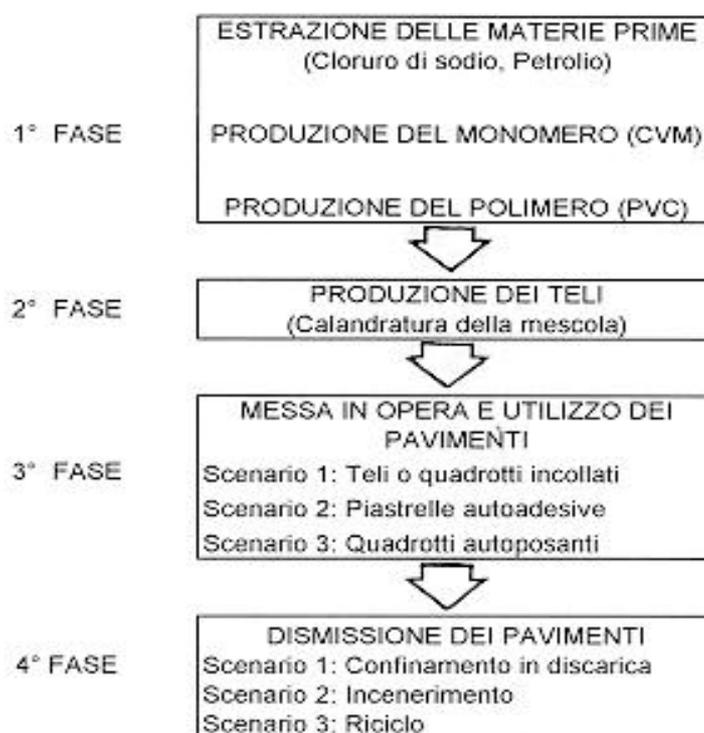


Tavola 19: Fasi del ciclo di vita dei pavimenti in PVC.
(Fonte: Nostra elaborazione)

Dopo aver definito le fasi di analisi del ciclo di vita dei pavimenti in PVC, è necessario precisare il tipo di dati che si utilizzeranno nel corso dello studio.

La validità di una LCA dipende in primo luogo dalla qualità dei dati usati: infatti la componente base di una LCA è l'inventario, ovvero la quantificazione input/output di risorse ed emissioni per ogni fase del ciclo di vita.

La tipologia dei dati è parzialmente dipendente dalle finalità dello studio. Poiché questa tesi intende elaborare uno strumento di caratterizzazione ambientale per una famiglia di prodotti, sarà necessario acquisire i dati "medi" della produzione.

Il dato non è perciò riferito ad uno specifico processo produttivo o di raccolta e smaltimento ma è la media di quanto è fatto nel contesto in cui si svolge l'analisi del prodotto (locale, nazionale, europeo, etc.).

In particolare:

- per quanto riguarda i due primi macro-stadi del ciclo di vita, cioè l'acquisizione delle materie prime e la produzione del polimero, si utilizzeranno i dati che risultano dalle ricerche compiute dall'Associazione Europea dei Produttori di Materie Plastiche (APME);
- per la produzione del telo ci si avvarrà di dati forniti da una ricerca ICITE/Comunità Europea;
- per la fase di utilizzo si farà riferimento a dati relativi alla durata ed alla manutenibilità reperiti in letteratura;
- infine per la fase di dismissione si analizzeranno i dati del mercato europeo del riciclo forniti dalla European Vinyls Corporation (EVC) e dal consorzio Arbeitsgemeinschaft für PVC-Bodenbelag Recycling (AgPR), e dati relativi all'incenerimento reperiti in letteratura.

Capitolo 5

GLI IMPATTI AMBIENTALI DEI PAVIMENTI IN PVC NELLE DIVERSE FASI DEL CICLO DI VITA

In questo Capitolo viene presentata l'analisi del ciclo di vita dei pavimenti in PVC. Per il processo produttivo sono state individuate quattro fasi: produzione del polimero, produzione dei teli, messa in opera e utilizzo dei pavimenti, dismissione dei pavimenti. Ogni singola fase comprende la descrizione del processo tecnologico e/o degli scenari proposti con i relativi impatti.

5.1 IMPATTI AMBIENTALI NELLA PRODUZIONE DEL POLIMERO

Questa parte della tesi è stata elaborata sulla base di un'analisi svolta dalla "Association of Plastics Manufactures in Europe" (APME) che in sei *report* ha descritto dettagliatamente il processo che va dall'estrazione delle materie prime alla produzione del polimero di cloruro di vinile. I dati riportati nei paragrafi che seguono sono stati estrapolati da tale ricerca e fanno riferimento ai processi produttivi di una media di aziende europee.

Prima di entrare nel merito della selezione degli impatti si ritiene utile descrivere i processi tecnologici che caratterizzano questa fase.

Il Policloruro di vinile, denominato comunemente PVC, è un polimero termoplastico (stampabile a caldo e in modo reversibile); è un idrocarburo clorato.

Il polimero viene prodotto dal cloruro di vinile attraverso un processo chimico in cui il doppio legame delle molecole di cloruro di vinile si apre e le molecole circostanti si combinano le une con le altre per produrre una lunga catena molecolare. La reazione viene rappresentata schematicamente nella tavola 20.

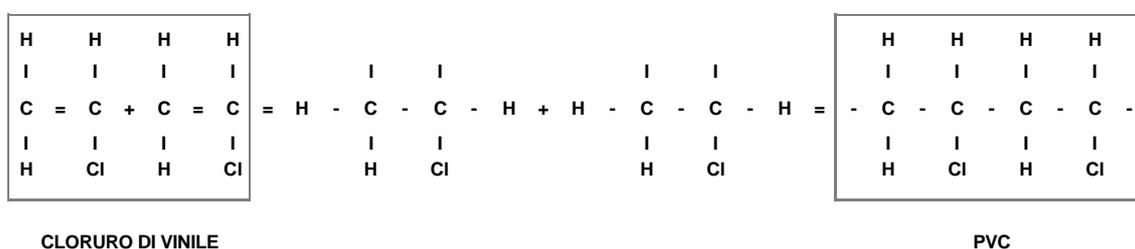


Tavola 20: Rappresentazione schematica del processo chimico che porta alla produzione della catena molecolare del polimero di cloruro di vinile (PVC).
(Fonte: APME, 1994)

L'estrazione del sale e del petrolio è alla base della produzione del PVC. L'elettrolisi del sale, cioè la scomposizione chimica dell'acqua salata (salamoia) tramite il passaggio di corrente elettrica, consente la produzione di cloro e, contemporaneamente, della soda caustica e dell'idrogeno come coprodotti non direttamente coinvolti nel processo sotto studio. Il petrolio invece, tramite un processo di raffinazione, diventa nafta che, sottoposta ad un processo di cracking, fornisce etilene.

I gas cloro (o acido cloridrico) e l'etilene vengono uniti chimicamente formando un nuovo composto l'EDC, il dicloroetano, che rappresenta la molecola base per ottenere il cloruro di vinile monomero (CVM).

Il processo di polimerizzazione (che consiste nel far reagire il CVM con acqua, sospendenti e additivi) porta all'ottenimento del PVC che viene in seguito "strippato" per depurarlo dal CVM residuo.

Il PVC così ottenuto non è in realtà ancora “puro”; deve essere centrifugato per eliminare l’acqua residua e in seguito sarà essiccato grazie ad apposite correnti di aria calda.

Il PVC si presenta, dopo essere stato centrifugato ed essiccato, sotto forma di una polvere bianca, e in seguito subisce un processo di “compoundizzazione”, che consiste nel miscelare ed omogeneizzare il PVC con diversi additivi, al fine di ottenere le caratteristiche necessarie per l’utilizzo richiesto.

Le fasi del processo tecnologico per la produzione del polimero di cloruro di vinile risultano quindi essere essenzialmente quattro:

- 1) estrazione delle materie prime;
- 2) trasformazione del cloruro di sodio in cloro e del petrolio greggio in etilene;
- 3) produzione del monomero di vinilcloruro (CVM);
- 4) polimerizzazione del CVM.

Di seguito verranno descritte nel dettaglio le suddette fasi dando informazioni sul consumo di energia, di materie prime e sull’emissione di sostanze inquinanti per l’aria e per l’acqua così come sulla produzione di rifiuti solidi.

La tavola 21 mostra schematicamente il processo produttivo del PVC.

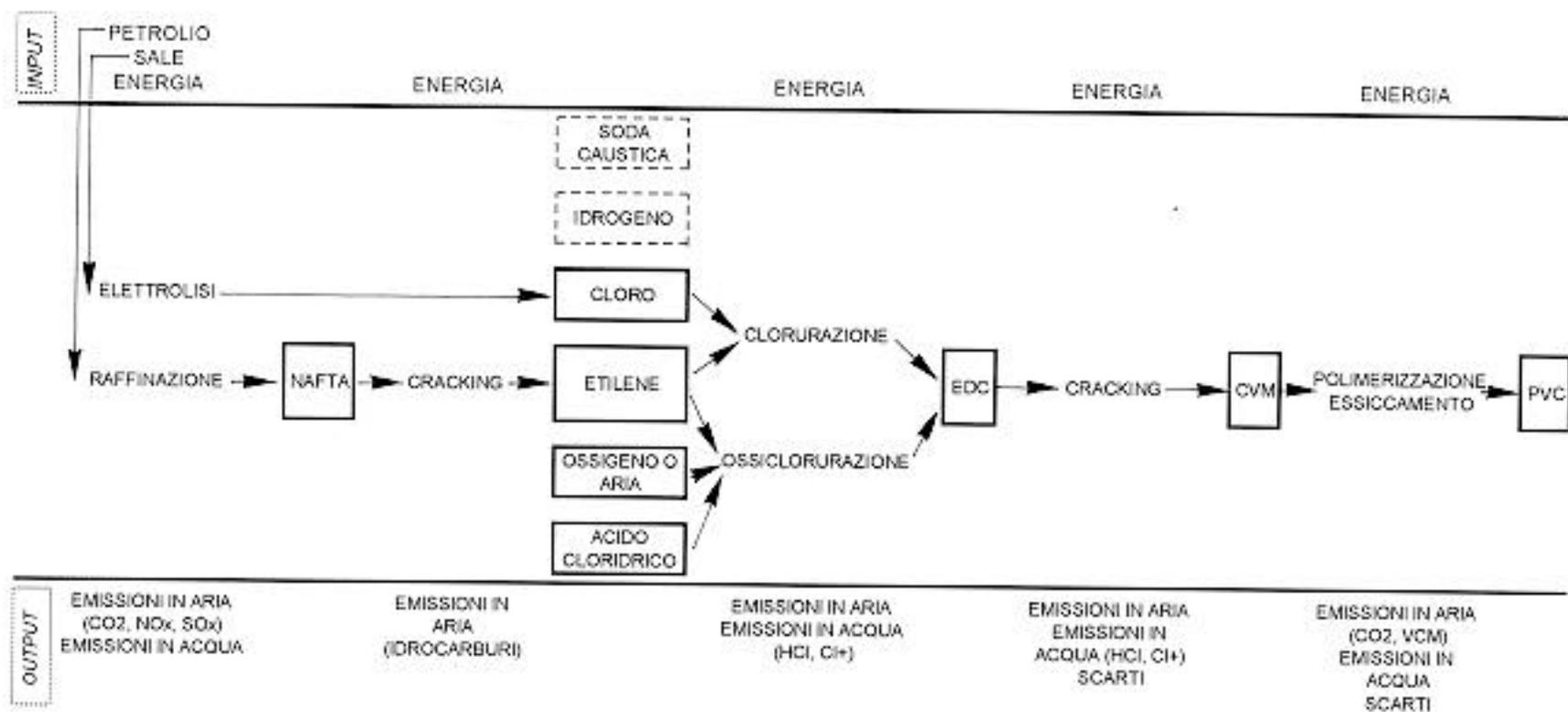


Tavola 21: Rappresentazione schematica della produzione di PVC: dalla trasformazione delle materie prime alla polimerizzazione del CVM. (Fonte, Nostra elaborazione)

FASE 1: ESTRAZIONE DELLE MATERIE PRIME

Le materie prime iniziali per la produzione del PVC sono il petrolio grezzo, che rappresenta il 43% del peso del polimero, e il cloruro di sodio, che incide per il 57%.

Gli idrocarburi allo stato grezzo vengono trasformati in etilene, mentre il cloruro di sodio viene sottoposto ad elettrolisi per ottenere il cloro (fabbricare 1 tonnellata di PVC comporta la distillazione di 8,2 tonnellate di petrolio).

Il PVC non contribuisce alla completa depauperazione delle risorse naturali in quanto per il petrolio le risorse stimate sono pari a 120 miliardi di tonnellate, mentre per il cloruro di sodio le risorse sono quasi illimitate. Inoltre è bene ricordare che solamente il 33-34% del cloro attualmente disponibile viene utilizzato per la produzione del PVC, mentre il rimanente è usato come elemento essenziale per molte industrie (chimica, cartaria, farmaceutica, trattamento acque, etc.).

- PETROLIO GREGGIO E GAS NATURALE

I depositi di petrolio greggio e di gas naturale sono presenti a livello mondiale e le riserve stimate ammontano a circa 120 miliardi di tonnellate. La maggior parte dei paesi ottengono il loro petrolio greggio da fonti diverse. In Europa, e specialmente nell'Europa settentrionale, una porzione significativa della domanda di petrolio greggio e gas naturale viene soddisfatta dai giacimenti del Mare del Nord. Nel 1990, l'ultimo anno per il quale sono disponibili dati completi, i paesi comunitari hanno soddisfatto il 15% della loro domanda di petrolio greggio dalla fonte sopracitata, mentre la percentuale corrispondente riguardante il gas naturale ed i suoi sottoprodotti è pari al 78%.

La tavola 22 mostra la variabilità delle caratteristiche del gas naturale estratto da tre fonti diverse.

Componenti	Giacimenti di Gas Naturale		
	Mare del Nord	Olanda	Algeria
Metano	94.4%	81.1%	83.5%
Etano	3.1%	2.8%	7.0%
Propano	0.5%	0.4%	2.0%
Butano	0.2%	0.1%	0.8%
C5+	0.2%	0.1%	0.4%
Nitrogeno	1.1%	14.0%	6.1%
Biossido di Carbonio	0.5%	0.8%	0.2%

Tavola 22: *Composizione-tipo del gas naturale proveniente da tre fonti diverse.*
(Fonte: APME, 1994)

A causa della diversa ubicazione geografica dei giacimenti di petrolio e di gas e delle diverse lavorazioni necessarie per affrontare i vari tipi di depositi, è impossibile identificare un giacimento standard. Comunque, l'analisi APME ha ottenuto le informazioni necessarie dall'insieme di operazioni commerciali svolte nell'area del Mare del Nord e dalle statistiche disponibili sulle operazioni effettuate.

- CLORURO DI SODIO

Le risorse di cloruro di sodio esistono in natura sia sotto forma di depositi salini che come miniere di roccia salata.

Per quanto riguarda il primo tipo di giacimento, il metodo utilizzato per estrarre il cloruro di sodio dai depositi consiste nel pompaggio di una soluzione satura di acqua e cloruro di sodio (salamoia) dal punto di estrazione sino a quello di trasformazione. L'acqua viene immessa nei depositi naturali e, una volta che il sale si discioglie nella soluzione fino al punto di saturazione, questa può essere estratta attraverso una pompa sino al laboratorio. La composizione esatta della soluzione ottenuta varia da una zona di estrazione all'altra e a seconda del grado di purezza della stessa.

Le principali impurità presenti, in questo tipo di deposito, sono il magnesio, il calcio e gli ioni solfato, per una concentrazione totale che è pari allo 0,6% del peso.

Il magnesio viene rimosso aggiungendo alla salamoia idrossido di sodio, il quale, reagendo, precipita sotto forma di idrossido insolubile; il calcio viene fatto precipitare, e quindi rimosso, come carbonato aggiungendo del carbonato di sodio, per contro il solfato viene rimosso, quando necessario, miscelandovi del carbonato di bario o dell'idrossido di calcio.

Comunemente la rimozione dei solfati viene tralasciata dal processo di purificazione a causa dell'elevato costo del processo di rimozione, a meno che la concentrazione degli stessi sia indebitamente alta.

Una fonte alternativa per l'approvvigionamento del cloruro di sodio è rappresentata dalle miniere di roccia salata.

Le impurità presenti nelle miniere sono simili a quelle presenti nei depositi salmastri, ma la concentrazione è usualmente più alta a causa della presenza di sedimenti estranei e/o di impurità relativamente insolubili che non potrebbero essere recuperate col pompaggio della salamoia.

Quando il cloruro di sodio deve essere trasportato, può essere pompato lungo condutture come soluzione satura se gli impianti di trasformazione sono nelle vicinanze oppure può essere purificato e cristallizzato in forma solida, con un contenuto generalmente pari al 3% di umidità, e indi trasportato via rotaia o stradale. La roccia frequentemente è trasportata appena estratta e purificata a destinazione.

I dati sono stati ottenuti dall'estrazione di 415.000 tonnellate di roccia salata e dal pompaggio di acqua salata per un totale di 4,1 milioni di tonnellate di cloruro di sodio (misurato come cloruro di sodio contenuto).

La media dell'energia necessaria per estrarre la roccia salata è contenuta nella tavola 23, mentre la media dell'energia utilizzata per estrarre il cloruro di sodio dai depositi salmastri è evidenziata nella tavola 24.

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	0.240	0.093	0.000	0.333
Carburanti petroliferi	0.025	0.136	0.000	0.161
Altri Carburanti	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.265	0.229	0.000	0.494

Tavola 23: Media dell'energia lorda necessaria per estrarre 1 kg di roccia salata.
(Fonte: APME, 1994)

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	0.146	0.066	0.000	0.212
Carburanti petroliferi	<0.001	<0.001	0.000	0.001
Altri Carburanti	<0.001	0.002	0.000	0.002
Totale	0.147	0.068	0.000	0.215

Tavola 24: Media dell'energia lorda necessaria per produrre 1 kg di cloruro di sodio dai depositi salmastri.
(Fonte: APME, 1994)

FASE 2: TRASFORMAZIONE DELLE MATERIE PRIME

• PRODUZIONE DI ETILENE

Per la produzione di etilene vengono utilizzati due tipi di materie prime, ovvero il gas naturale e il petrolio greggio.

Il gas naturale è una miscela di idrocarburi a bassa massa molecolare, generalmente saturi, uniti ad altri, anche non combustibili come azoto ed anidride carbonica. Trattandosi di una miscela, non vi è una composizione tipo, ma le composizioni del gas naturale possono essere relativamente variabili in relazione alla provenienza geografica.

La maggior parte dei gas naturali contengono concentrazioni relativamente basse di impurità deleterie che però dopo l'estrazione possono essere utilizzate come combustibili o materia prima; ne è un esempio il giacimento

Lacq in Francia che presenta una concentrazione di zolfo piuttosto alta ed infatti contiene oltre il 15% di acido solfidrico.

La conseguenza più importante della variabilità di composizione del gas naturale, proveniente da fonti diverse, è la variazione del potere calorico della frazione.

In pratica, i valori oscillano fra 30-48 MJ/m³; questo deriva dalla concentrazione più o meno elevata di componenti non-combustibili. L'analisi APME ha tenuto conto, per le valutazioni, di un potere calorico medio di 38,8 MJ/m³. La tavola 25 fornisce i valori calorici lordi dei gas naturali analizzati.

Componenti	Giacimenti di Gas Naturale		
	Mare del Nord	Olanda	Algeria
Metano	94.4%	81.1%	83.5%
Etano	3.1%	2.8%	7.0%
Propano	0.5%	0.4%	2.0%
Butano	0.2%	0.1%	0.8%
C5+	0.2%	0.1%	0.4%
Nitrogeno	1.1%	14.0%	6.1%
Biossido di Carbonio	0.5%	0.8%	0.2%
Potere calorico (MJ/cu m)	38.0	32.6	41.9

Tavola 25: Valori calorici totali dei gas naturali provenienti da fonti diverse e loro composizione.
(Fonte: APME, 1994)

Anche il petrolio greggio come il gas naturale è una miscela di idrocarburi ma, a differenza di questi ultimi, la massa molecolare degli idrocarburi che lo compongono è più elevata: ogni molecola contiene da un minimo di tre, quattro atomi di carbonio su molte centinaia. Inoltre è utile ricordare che il petrolio ed il gas naturale, generalmente, si presentano stratificati all'interno dello stesso giacimento e di conseguenza la maggior parte dei campioni di petrolio contengono, disciolti, quantità variabili di gas naturale che vengono liberati durante il processo di raffinazione.

A causa della complessità della miscela, è impossibile eseguire un'analisi particolareggiata dei componenti chimici presenti in un campione di petrolio

greggio, perchè solitamente esso è caratterizzato dalla frazione residua non volatile successiva alla bollitura ad una specifica temperatura.

La tavola 26 mostra l'analisi di un campione-tipo di petrolio greggio estratto dai giacimenti del Mare del Nord.

La variabilità della composizione del petrolio greggio si ripercuote sul potere calorico dell'idrocarburo.

Frazione	Intervallo di Temperatura della distillazione (Celsius)	Percentuale di Separazione (%)
Petrolio	<15	1.07
Gasolio	15 - 95	6.05
	15 - 149	13.55
Nafta	95 - 175	11.60
Cherosene	149 - 232	12.25
Olivo Diesel	232 - 343	17.00
	343 - 371	4.15
Olivo Benzina	>343	55.45
	>371	51.30
Cera Distillata	371 - 525	19.85
Bitume	> 525	30.30

Tavola 26: Analisi del petrolio proveniente dal Kuwait e dei suoi derivati riferiti alla differenti soglie di distillazione.
(Fonte: APME, 1994)

Alla produzione di etilene si giunge attraverso due importanti processi: la raffinazione del petrolio greggio e il cracking.

Il processo di raffinazione è utilizzato per distillare, dall'idrocarburo di partenza, le differenti frazioni di cui è composto il petrolio greggio, il cui peso molecolare risulterà naturalmente inferiore al precedente. Inoltre tale processo viene anche utilizzato per rimuovere tutte le impurità non desiderate come lo zolfo e, allo stesso tempo, per rintracciare eventuali residui di metalli, come il vanadio.

Il raffinatore svolge essenzialmente due funzioni:

- a) riduce la complessità della miscela utilizzata per la produzione in un numero inferiore di idrocarburi a bassa massa molecolare;
- b) trasforma gli stessi in idrocarburi insaturi al fine di farli diventare più reattivi.

Le frazioni prodotte in raffineria rimangono, in ogni caso, ancora complesse miscele di idrocarburi saturi prevalentemente non reattivi. Il primo processo di conversione di tali frazioni in materie prime, adatte all'industria del polimero, è il cracking.

Il cracking è un processo che si sviluppa in tre fasi (come evidenziato nella tavola 27):

- riscaldamento;
- raffreddamento;
- separazione.



Tavola 27: Schema di flusso del processo di cracking per ottenere l'etilene.
(Fonte: APME, 1994)

Nonostante sia possibile identificare schematicamente i tre processi, in pratica essi si comportano come un unico insieme e le informazioni sulle caratteristiche di comportamento di un cracker sono disponibili solo nell'ambito del sistema completo.

Gli idrocarburi grezzi, che vengono usati per la produzione nelle raffinerie, vengono introdotti nella fornace quando questa è alla temperatura desiderata. I prodotti di reazione che si formano dipendono dalla composizione dell'alimentazione usata (input), dalla temperatura della fornace e dal tempo in cui vengono tenuti all'interno del forno (tempo di residenza).

L'operatore sceglie la temperatura e il tempo di residenza per ottimizzare la miscela di produzione derivante da un ben determinato giacimento.

Prima di essere estratto dal forno, il gas idrocarburo viene raffreddato per inibire reazioni secondarie che potrebbero compromettere la buona riuscita dell'operazione. Successivamente viene inviato al processo di separazione dove i vari idrocarburi (frazioni) vengono separati uno dall'altro.

L'alimentazione delle raffinerie potrebbe avvenire con la nafta derivante dalla raffinazione del petrolio o con il gas naturale o con una miscela di entrambi. Frequentemente però vengono usati altri idrocarburi raffinati. Quando vengono usati i gas naturali, come alimentazione, la funzione primaria della raffineria è di trasformare le molecole sature di partenza in molecole insature.

- PRODUZIONE DEL CLORO

Il cloro è prodotto per elettrolisi da una soluzione acquosa di cloruro di sodio. Oltre al cloro recuperato sotto forma di gas, prima di essere liquefatto, l'elettrolisi permette anche di produrre soda caustica ed idrogeno, che vengono poi utilizzati in altri processi industriali.

E' praticamente impossibile separare la produzione di questi composti addizionali da quella principale del cloro.

Dall'analisi APME gli input e output associati alle operazioni degli impianti elettrolitici possono essere separati fra i diversi coprodotti. Sfortunatamente non esiste un singolo metodo di separazione approvato universalmente, la separazione quindi è stata prodotta sulla base delle masse molecolari dei differenti coprodotti.

1) Il cloruro di sodio è stato diviso in cloro e idrossido di sodio sulla base delle relative masse molecolari del sodio e del cloro. Perciò, di tutta la massa complessiva del cloruro di sodio le proporzioni attribuite ai differenti prodotti sono:

idrossido di sodio	39,3%
cloro	60,7%
idrogeno	0,0%

2) L'energia termica è stata totalmente attribuita all'idrossido di sodio. Perciò, le proporzioni dell'energia termica attribuita ai prodotti sono:

idrossido di sodio	100%
cloro	0%
idrogeno	0%

3) L'elettricità è stata separata sulla base delle singole masse dei prodotti, che sono idrossido di sodio, cloro e idrogeno. Perciò quando un impianto produce questi prodotti nelle proporzioni stechiometriche previste, le proporzioni relative di elettricità attribuibile ai differenti prodotti sono:

idrossido di sodio	52,3%
cloro	46,4%
idrogeno	1,3%

4) Tutte le emissioni sono considerate come se derivassero da tutti i prodotti fabbricati e sono stati separati in relazione ai tre prodotti considerati, come per il caso che precede (elettricità). Perciò le proporzioni attribuite ai differenti prodotti sono:

idrossido di sodio	52,3%
cloro	46,4%
idrogeno	1,3%

Attualmente esistono tre differenti tipi di celle elettrolitiche, utilizzate per separare dal cloruro di sodio il cloro:

- elettrolisi a mercurio;
- elettrolisi a diaframma;
- elettrolisi a membrana.

- **ELETTROLISI A MERCURIO**

Sviluppata soprattutto in Europa, l'elettrolisi a mercurio rappresenta la prima tecnica di produzione di cloro/soda caustica realizzata industrialmente. La

cella presenta anodi in grafite o titanio affacciati su uno strato di mercurio che scorre sul fondo della cella e funge da catodo. Sotto l'effetto della corrente elettrica continua, il cloro si sviluppa all'anodo mentre il sodio si discioglie nel catodo di mercurio e forma un'amalgama. Quest'amalgama viene inviata in un reattore separato, chiamato pila di decomposizione, dove reagisce con acqua per dar luogo ad idrogeno e ad una soluzione di soda caustica al 50%, rigenerando il mercurio che torna poi in ciclo nell'elettrolizzatore.

La soluzione esausta che esce dall'elettrolizzatore viene risaturata in sale e riciclata. La reazione in due fasi consente di ottenere prodotti molto puri. Le celle a mercurio hanno un consumo di energia unitario elevato che si tenta di ridurre mediante l'utilizzazione di rivestimenti speciali degli anodi e una continua regolazione della distanza anodo/catodo. In quanto all'utilizzazione del mercurio, questa richiede misure appropriate per la protezione dei lavoratori e dell'ambiente. E' d'obbligo mantenere le perdite di mercurio a livelli estremamente ridotti.

- *ELETTROLISI A DIAFRAMMA*

Il procedimento a diaframma consiste in una cella con un diaframma in amianto poggiato su un catodo a griglia in ferro che assicura la separazione del cloro e della soda. L'idrogeno si sviluppa nello spazio catodico con formazione di soda in soluzione dal 10 al 12%, in una salamoia al 15% di sale non convertito. L'elettrolisi a diaframma, sviluppatasi soprattutto negli Stati Uniti, richiede un consumo di energia inferiore rispetto al procedimento a mercurio. Per ottenere una soda caustica commerciale, tuttavia, è necessario far evaporare l'acqua e precipitare il sale. Questa operazione di concentrazione è molto costosa in termini di investimenti e di energia e non consente di ottenere una soda caustica sufficientemente pura per determinate applicazioni.

ELETTROLISI A MEMBRANA

Questa tecnica, elaborata negli anni '70 attraverso lo sviluppo delle membrane perfluorate, vede la cella divisa in due compartimenti mediante una membrana scambiatrice di ioni. Lo spazio anodico viene alimentato con la soluzione satura di cloruro di sodio mentre lo spazio catodico con acqua pura. Il cloro si sviluppa all'anodo e l'idrogeno al catodo.

I vantaggi del processo a membrana sono triplici:

- il consumo di energia è simile a quello delle celle a diaframma;
- la soda caustica prodotta è molto pura;
- l'impatto sull'ambiente è trascurabile.

I dati sono stati ottenuti da 14 impianti di produzione di cloro che complessivamente producono una quantità pari a 2,4 milioni di tonnellate di cloro. La media dell'energia lorda richiesta per produrre il cloro da questi impianti è pari a 21,5 MJ/kg con un range che è compreso fra i 10,3 MJ/kg e i 25,6 MJ/kg. La media riportata è complessiva e come tale, include tutte le operazioni a monte della produzione di cloro, come la fornitura di energia elettrica alle industrie petrolifere, etc. La media ponderata dell'energia lorda necessaria per la produzione di cloro è evidenziata nella tavola 28, mentre gli input e output sono riportati nella tavola 29.

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	11.29	5.02	0.00	16.31
Carburanti petroliferi	0.12	0.94	0.00	1.06
Altri Carburanti	0.27	3.83	0.00	4.10
Totale	11.68	9.79	0.00	21.47

Tavola 28: *Media dell'energia lorda richiesta per produrre 1 kg di cloro mediato fra gli output dei 14 impianti di produzione presi in esame.*
(Fonte: APME, 1994)

		<i>Unità</i>	<i>Media</i>
Combustibili	Carbone	MJ	6.77
	Petrolio	MJ	3.54
	Gas naturale	MJ	4.05
	Energia idroelettrica	MJ	0.72
	Energia nucleare	MJ	6.14
	Altri	MJ	0.25
	Totale Combustibili	MJ	21.47
Totale Combustibili e Feedstock		MJ	21.47
Materie Prime	Minerale di ferro	mg	650
	Pietra calcare	mg	18600
	Acqua	mg	900000
	Cloruro di Sodio	mg	1210000
	Sabbia	mg	200
Emissioni in aria	Polvere	mg	3500
	Monossido di Carbonio	mg	800
	Anidride carbonica	mg	1210000
	Ossidi di Zolfo	mg	12000
	Ossidi di Azoto	mg	7000
	Acido cloridrico	mg	180
	Idrocarburi	mg	6000
	Metalli	mg	2
Emissioni in acqua	COD	mg	10
	BOD	mg	3
	Acidi come H+	mg	340
	Metalli	mg	90
	Ioni di Cloro	mg	42000
	Particelle solide sospese	mg	2000
	Particelle solide disciolte	mg	50
	Ioni solfato	mg	7200
	Ioni di Sodio	mg	2800
Rifiuti solidi	Rifiuti industriali	mg	1000
	Rifiuti minerali	mg	72000
	Scorie e Ceneri	mg	13000
	Sostanze chimiche inerti	mg	13000
	Sostanze chimiche regolate	mg	20

Tavola 29: *Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di cloro mediato fra gli output degli impianti di produzione presi in esame.*
(Fonte: APME, 1994)

FASE 3: FORMAZIONE DEL MONOMERO DI CLORURO DI VINILE (CVM)

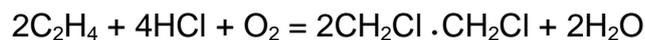
Nella produzione del cloruro di vinile si combina l'etilene con il cloro o con l'acido cloridrico in un processo diretto di clorurazione o di ossiclorurazione ottenendo così il dicloroetano. Questo viene poi scisso per produrre il monomero di cloruro di vinile (CVM) e acido cloridrico. Il monomero di vinilcloruro è, nel processo, un gas sotto-pressione. Può essere usato sia in processi di sospensione e di emulsione, dove il CVM viene miscelato con acqua, che in processi di dispersione in massa.

Nella produzione del cloruro di vinile ($\text{CHCl}:\text{CH}_2$) si possono utilizzare due processi diretti:

- processo di clorurazione, nel quale si combina l'etilene con il cloro:



- processo di ossiclorurazione, nel quale si combina l'etilene con l'acido cloridrico (HCl) fornendo ossigeno o aria (è maggiormente utilizzato l'ossigeno in quanto offre i vantaggi di minori consumi di materie prime, elettrici e minori emissioni):



Da questi due processi si ottiene così il dicloroetano (DCE) che viene poi scisso per ottenere il cloruro di vinile, e come coprodotto l'acido cloridrico, secondo la seguente reazione:



Durante la scissione il 55% del DCE diventa CVM e il 45% ritorna in circolo. Successivamente il CVM viene purificato in modo da togliere l'HCl residuo, che a sua volta viene reimpiegato nello stesso processo di ossiclorurazione.

La media dell'energia lorda necessaria per produrre 1 kg di CVM è pari a 56,8 MJ/kg con una media che va da 43 MJ/kg sino a 65 MJ/kg. L'analisi riguardante l'energia lorda richiesta è mostrata nella tavola 30.

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	6.66	3.55	0.00	10.21
Carburanti petroliferi	0.31	2.34	15.23	17.88
Altri Carburanti	0.77	12.75	15.17	28.69
Totale	7.74	18.64	30.40	56.78

Tavola 30: Media dell'energia lorda richiesta per produrre 1 kg di cloruro di vinile monomero. (Fonte: APME, 1994)

Gli effluenti gassosi dovuti alla produzione del CVM vengono collettati e sottoposti a termocombustione, e quindi le emissioni finali coincidono con gli effluenti gassosi dell'impianto di termodistribuzione dei gas di scarico degli impianti DCE - CVM.

Nel particolare processo di ossiclorurazione dell'etilene per la produzione di DCE, si formano come sottoprodotti le diossine, la cui quantità è compresa fra i 3 e 5 g TEQ (tossicità equivalente) ogni 100.000 tonnellate di CVM prodotto. Circa il 99% di queste diossine è contenuto nel dicloroetano grezzo, mentre il resto (1% circa) è presente nell'acqua che si forma nel processo di ossiclorurazione.

La quantità di diossine contenute nel dicloroetano viene concentrata totalmente nella fase di purificazione del dicloroetano grezzo tramite distillazione all'interno della frazione dei composti clorurati che bollono alle temperature più alte.

Le diossine così concentrate vengono distrutte completamente nella termocombustione (1200°C con tempi di permanenza di 2 secondi) dei composti clorurati altobollenti che le contengono.

L'altra parte delle diossine (circa l'1%) contenuta nelle acque che si formano nel processo di ossiclorurazione viene, invece, separata e isolata nei trattamenti, per flocculazione e biologico, che le acque subiscono per venire purificate prima di essere scaricate all'esterno delle aree produttive.

Durante questi trattamenti di purificazione, le diossine contenute nelle acque di processo si concentrano nei fanghi che vengono o smaltiti in discariche controllate o sottoposti a termocombustione controllata con totale distruzione delle diossine.

Le acque di processo, quindi, che vengono scaricate all'esterno delle aree produttive, praticamente non contengono diossine.

Si può quindi concludere che nella fase di produzione di CVM l'emissione di diossine nell'ambiente esterno non sussiste né attraverso effluenti liquidi né attraverso gli effluenti gassosi, in quanto le diossine vengono distrutte in modo praticamente completo (più del 99,9%) mediante la termocombustione.

I dettagli riguardanti gli input e output associati alla produzione di 1 kg di CVM sono evidenziati nella nella tavola 31.

		<i>Unità</i>	<i>Media</i>
Combustibili	Carbone	MJ	4.34
	Petrolio	MJ	3.39
	Gas naturale	MJ	11.60
	Energia idroelettrica	MJ	0.90
	Energia nucleare	MJ	6.05
	Altri	MJ	0.10
	Totale Combustibili	MJ	26.38
Feedstock	Carbone	MJ	< 0.01
	Petrolio	MJ	15.23
	Gas naturale	MJ	15.17
	Totale Feedstock	MJ	30.40
Totale Combustibili e Feedstock		MJ	56.78
Materie Prime	Minerale di ferro	mg	260
	Pietra calcare	mg	13500
	Acqua	mg	22900000
	Bauxite	mg	220
	Cloruro di Sodio	mg	663000
	Sabbia	mg	310
	Emissioni in aria	mg	2500
Emissioni in acqua	COD	mg	520
	BOD	mg	30
	Acidi come H+	mg	130
	Metalli	mg	140
	Ioni di Cloro	mg	33000
	Composti organici disciolti	mg	7000
	Particelle solide sospese	mg	1500
	Petrolio	mg	40
	Particelle solide disciolte	mg	240
	Altri Nitrogeni	mg	2
Composti organici clorurati	mg	3800	
Ioni solfato	mg	3	
Ioni di Sodio	mg	1600	
Rifiuti solidi	Rifiuti industriali	mg	1000
	Rifiuti minerali	mg	45000
	Scorie e Ceneri	mg	8000
	Sostanze chimiche inerti	mg	7000
	Sostanze chimiche regolate	mg	4000

Tavola 31: Input ed output associati alla produzione di 1 kg di cloruro di vinile monomero basati sulle operazioni di 10 impianti considerati.

FASE 4: POLIMERIZZAZIONE DEL MONOMERO DI CLORURO DI VINILE

Il PVC si ottiene per polimerizzazione del monomero di cloruro di vinile attraverso tre differenti tecniche: in sospensione, in emulsione, in massa.

- Si può operare la *POLIMERIZZAZIONE IN MASSA O IN BLOCCO* sul monomero liquido in presenza di luce, calore o piccole quantità di iniziatori (agenti generatori di radicali liberi; catalizzatori). Questo tipo di processo viene impiegato per realizzare oggetti molto trasparenti e brillanti.
- La *POLIMERIZZAZIONE IN EMULSIONE* consiste nell'emulsione del monomero in acqua ad opera di adatti tensioattivi e nell'azione di iniziatori, eventualmente in presenza di riducenti (bisolfito di sodio) che ne accelerano l'azione. Il controllo della temperatura è ottimo, ma contemporaneamente il polimero risulta impuro. In tal modo si ottengono i lattici.
- La *POLIMERIZZAZIONE IN SOSPENSIONE*, nella quale il monomero viene disperso grossolanamente in acqua utilizzando un agitatore a pale. Questo processo produce particelle di polveri relativamente grosse (approssimativamente 0,1 mm di diametro) e particolarmente porose che sono in grado di assorbire facilmente una percentuale alta di plastificante.

L'acqua e il polimero di CVM vengono separati attraverso un processo di centrifuga e successivamente viene asciugato con aria calda.

In particolare per la produzione del polimero destinato alla manifattura dei pavimenti in PVC omogeneo, la tecnica adeguata è la polimerizzazione in sospensione, dalla quale si ottiene una polvere con granulometria di 60 micron. Prima di procedere a questa tecnica, viene effettuata la sintesi del catalizzatore per la reazione di polimerizzazione (il perossido) che dura 2,5 minuti. Il CVM in fase liquida, con aggiunta di stabilizzanti (antiossidanti) e additivi, viene poi spinto attraverso pompe nei reattori e viene costantemente agitato con acqua, preventivamente riscaldata a 60°C.

Al termine della polimerizzazione, dopo circa 6 ore, si ottiene la trasformazione dell' 85% circa del CVM in PVC. Il CVM residuo viene eliminato e recuperato alla fine del processo di polimerizzazione con un trattamento di strippaggio con vapore in colonne. Vengono abbattute a umido le polveri di PVC contenute negli sfiati della sezione essiccamento. Il CVM non reagito nelle autoclavi di polimerizzazione viene compresso e liquefatto in una sezione di recupero e quindi riciclato nel processo di polimerizzazione. I gas inerti che escono da questa sezione di recupero trascinano tracce di CVM che vengono allontanate con un trattamento in un sistema di assorbimento. Dopo questo trattamento, il flusso gassoso, costituito prevalentemente da gas inerti, viene comunque inviato ad un inceneritore.

Gli effluenti liquidi della polimerizzazione subiscono un trattamento biologico di depurazione per ridurre gli inquinanti ai livelli consentiti.

Per quanto riguarda infine i sottoprodotti che si ottengono con la produzione del cloruro di vinile (2-3%), questi vengono recuperati, riciclati o in parte smaltiti, per esempio mediante incenerimento.

INVENTARIO DEGLI IMPATTI NELLA PRODUZIONE DEL POLIMERO

Per la fase di polimerizzazione l'APME sulla base dei dati sopradescritti, ha stilato un inventario.

I dati sono stati ottenuti da ben 14 impianti di polimerizzazione differenti, che producono annualmente circa 2,2 milioni di tonnellate di PVC. In particolare fra i 14 impianti sopracitati, 8 polimerizzano per sospensione, con una produzione complessiva di 1,6 milioni di tonnellate di PVC.

L'energia globale lorda richiesta per produrre il polimero per sospensione è pari a 64,9 MJ/kg se ponderata fra tutti gli impianti che utilizzano questo processo, con un range che va da 48 MJ/kg fino a 75 MJ/kg. L'energia media lorda necessaria è data nella tavola 32, mentre i dettagli sugli input e output è mostrata nella tavola 33.

L'energia lorda complessiva necessaria per la produzione di PVC, a prescindere dal metodo di produzione, è di 66,8 MJ/kg con un'oscillazione compresa tra i 48 MJ/kg e gli 89 MJ/kg. L'analisi del fabbisogno medio di energia lorda viene evidenziata nella tavola 34 e gli input e output dettagliati sono evidenziati nella tavola 35.

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	8.56	4.34	0.00	12.90
Carburanti petroliferi	0.57	3.68	16.11	20.37
Altri Carburanti	1.03	16.19	14.42	31.65
Totale	10.16	24.22	30.53	64.92

Tavola 32: Media dell'energia lorda richiesta per produrre 1 kg di PVC tramite il processo di sospensione.

(Fonte: APME, 1994)

E' interessante osservare come i risultati riportati all'interno delle tavole (32, 33, 34, 35) presentano, proprio per le ragioni espresse, il totale dei consumi di energia, di prelievo di materia prime (input), di emissioni in aria, di emissioni in acqua e di produzione di rifiuti solidi (output). Come viene osservato anche nel lavoro dell'APME, l'energia richiesta nei processi di polimerizzazione viene indagata in termini di consumi primari di combustibile estratto dall'ambiente, e gli altri combustibili citati (carbone, petrolio, gas, etc.) non si riferiscono a consumi provenienti dalle loro lavorazioni bensì alle quantità che vengono prelevate dalla terra. Lo stesso approccio è stato utilizzato per il prelievo di materie prime, e per tutte le emissioni rilasciate nell'ambiente, pertanto non è possibile scorporare gli input o gli output per ogni sequenza del processo di polimerizzazione.

Il termine *feedstock*, presentato separatamente dagli altri combustibili, esprime l'energia del combustibile incorporato nei materiali che entrano a far parte del processo, ma che vengono utilizzati come materiale e non come combustibile.

		<i>Unità</i>	<i>Media</i>
Combustibili	Carbone	MJ	6.15
	Petrolio	MJ	5.22
	Gas naturale	MJ	14.21
	Energia idroelettrica	MJ	0.81
	Energia nucleare	MJ	7.80
	Altri	MJ	0.20
	Totale Combustibili	MJ	34.38
Feedstock	Carbone	MJ	16.11
	Petrolio	MJ	14.42
	Gas naturale	MJ	< 0.01
	Totale Feedstock	MJ	30.53
Totale Combustibili e Feedstock		MJ	64.92
Materie Prime	Minerale ferroso	mg	370
	Pietra calcare	mg	15000
	Acqua	mg	20000000
	Bauxite	mg	220
	Cloruro di Sodio	mg	675000
	Sabbia	mg	1000
Emissioni in aria	Polvere	mg	3900
	Monossido di Carbonio	mg	2500
	Anidride carbonica	mg	1747000
	Ossidi di Zolfo	mg	13000
	Ossidi di Azoto	mg	15000
	Cloro	mg	1
	Acido cloridrico	mg	240
	Idrocarburi	mg	19000
	Metalli	mg	3
	Composti organici clorurati	mg	510
Emissioni in acqua	COD	mg	1100
	BOD	mg	80
	Acidi come H+	mg	170
	Metalli	mg	200
	Ioni cloruro	mg	42000
	Composti organici disciolti	mg	1400
	Particelle solide sospese	mg	2000
	Petrolio	mg	50
	Particelle solide disciolte	mg	420
	Altri Nitrogeni	mg	3
	Composti organici clorurati	mg	3
	Ioni solfato	mg	1500
	Ioni di Sodio	mg	4800
	Rifiuti solidi	Rifiuti industriali	mg
Rifiuti minerali		mg	60000
Scorie e Ceneri		mg	12000
Sostanze chimiche inerti		mg	11000
Sostanze chimiche regolate		mg	3500

Tavola 33: Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di PVC in sospensione basati sulle operazioni di 8 impianti considerati.

Tipo di Carburante	Produzione di Carburante e Distribuzione (MJ)	Energia Distribuita (MJ)	Feedstock (MJ)	Totale Energia (MJ)
Elettricità	7.79	4.12	0.00	11.90
Carburanti petroliferi	0.62	4.55	16.85	22.02
Altri Carburanti	1.19	18.99	12.71	32.88
Totale	9.59	27.65	29.56	66.80

Tavola 34: Media dell'energia lorda richiesta per produrre 1 kg di PVC mediato fra tutti i processi di polimerizzazione.

(Fonte: APME, 1994)

Occorre sottolineare che tale distinzione, tra feedstock e gli altri combustibili, implica una forte considerazione per i diversi processi tecnologici impiegati. Nell'interpretazione dei risultati che riguardano i rifiuti solidi emerge che la principale causa di tale produzione è imputabile all'estrazione mineraria, sebbene occorre tenere presente che tali dati si riferiscono, in particolare modo, ai quantitativi di frazione mineraria che vengono rimossi dal terreno durante le operazioni di prelievo di tali risorse, ma che spesso vengono rimpiazzati, dunque il dato risulta più attendibile in termini di una vera produzione di rifiuti permanenti. Scorie e ceneri si riferiscono agli scarti solidi prodotti dalle caldaie e dalle fornaci industriali e sono di solito inerti: frequentemente vengono usati nelle opere di ingegneria civile come la costruzione di strade. Gli scarti chimici inerti vengono mandati in discarica senza ulteriore trattamento, mentre gli altri devono essere inviati in speciali siti di deposito in quanto corrosivi e/o tossico-nocivi. L'ultima categoria, "scarti industriali", di solito è costituita da imballaggi e scarti domestici in generale (e tutto ciò che non rientra nelle altre categorie).

Non vengono menzionate le emissioni di mercurio, generate dalla produzione del cloro in celle di mercurio, perché generalmente sono al di sotto del livello di accuratezza di questa tabella: nel 1990 esse ammontano a 0,6 mg di mercurio per kg di cloro e venivano scaricate in acqua, contro gli 0,8 mg del 1989.

		<i>Unità</i>	<i>Media</i>
Combustibili	Carbone	MJ	6.96
	Petrolio	MJ	6.04
	Gas naturale	MJ	15.41
	Energia idroelettrica	MJ	0.84
	Energia nucleare	MJ	7.87
	Altri	MJ	0.13
	Totale Combustibili	MJ	37.24
Feedstock	Petrolio	MJ	16.85
	Gas naturale	MJ	12.71
	Totale Feedstock	MJ	29.56
Totale Combustibili e Feedstock		MJ	66.80
Materie Prime	Minerale di ferro	mg	400
	Pietra calcarea	mg	1600
	Acqua	mg	1900000
	Bauxite	mg	220
	Cloruro di Sodio	mg	690000
	Sabbia	mg	1200
	Emissioni in aria	Polvere	mg
	Monossido di Carbonio	mg	2700
	Anidride carbonica	mg	1944000
	Ossidi di Zolfo	mg	13000
	Ossidi di Azoto	mg	16000
	Cloro	mg	2
	Acido cloridrico	mg	230
	Idrocarburi	mg	20000
	Metalli	mg	3
	Composti organici clorurati	mg	720
Emissioni in acqua	COD	mg	1100
	BOD	mg	80
	Acidi come H+	mg	110
	Metalli	mg	200
	Ioni di Cloruro	mg	40000
	Composti organici disciolti	mg	1000
	Particelle solide sospese	mg	2400
	Petrolio	mg	50
	Particelle solide disciolte	mg	500
	Altri Nitrogeni	mg	3
	Composti organici clorurati	mg	10
	Ioni solfato	mg	4300
	Ioni di Sodio	mg	2300
	Rifiuti solidi	Rifiuti industriali	mg
Rifiuti minerali		mg	66000
Scorie e Ceneri		mg	47000
Sostanze chimiche inerti		mg	14000
Sostanze chimiche regolate		mg	1200

Tavola 35: Input ed output totali associati alla produzione di 1 kg di PVC mediato fra tutti i processi di polimerizzazione.

(Fonte: APME, 1994)

La tavola 35 (riportata precedentemente), sempre secondo lo studio condotto dall'APME, riporta una attendibile rappresentazione della media europea dei diversi processi di polimerizzazione del PVC analizzata nel periodo tra il 1989 e il 1990.

5.2 IMPATTI AMBIENTALI NELLA PRODUZIONE DEI TELI

Dopo aver ottenuto il polimero di cloruro di vinile, il cui processo produttivo è stato sopra descritto, la lavorazione del PVC procede con la fase di produzione del manufatto, fase che nel presente studio consiste nella produzione dei teli o dei quadrotti.

In particolare si prenderà in considerazione il caso dei pavimenti in polivinilcloruro plastificato (PVC-P) omogeneo.

Nella fase di produzione dei teli in PVC-P omogeneo si possono individuare le seguenti operazioni (tavola 36):

- aggiunta di stabilizzanti alla polvere di PVC;
- aggiunta di cariche;
- omogeneizzazione del tutto con plastificanti e pigmenti;
- calandratura o estrusione per ottenere i teli o i quadrotti.

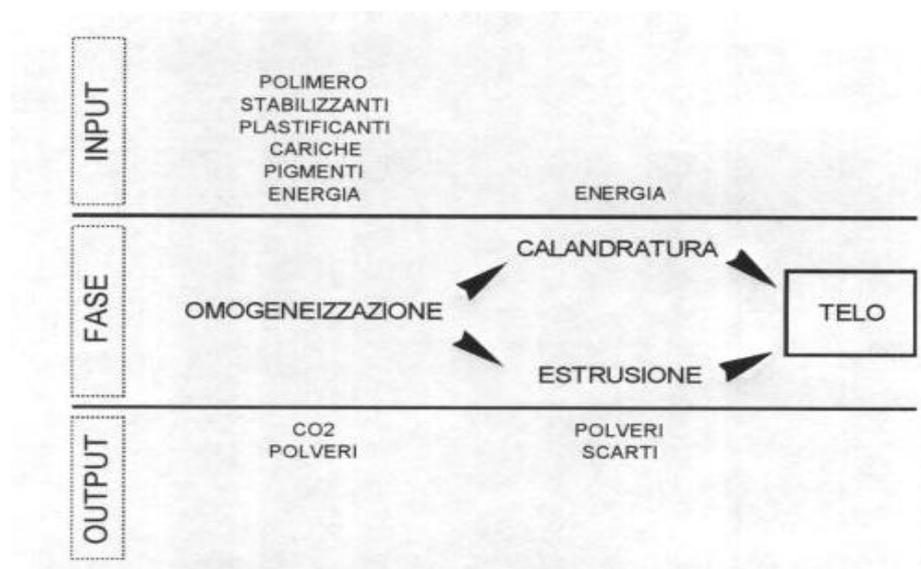


Tavola 36: Rappresentazione schematica della fase di produzione dei teli in PVC-P omogeneo.
(Fonte: Nostra elaborazione)

Il polimero, ottenuto dal petrolio e dal cloruro di sodio, si presenta come una polvere bianca che deve essere successivamente miscelata con additivi per poterla trasformare direttamente in oggetti finiti.

Gli additivi utilizzati sono di diverso tipo; ci sono:

- gli stabilizzanti,
- le cariche,
- i plastificanti,
- i pigmenti.

I polimeri in PVC non possono essere lavorati senza stabilizzanti che durante la lavorazione a temperature elevate impediscono la clorazione e il successivo danneggiamento in seguito all'ossidazione e scissione di HCl, come pure l'azione del calore e della luce durante l'impiego. Gli stabilizzanti, a base di metalli (piombo, cadmio, bario, stagno o composti dello zinco), sono solidamente fissati in tutti i prodotti di PVC. E in questo caso la pericolosità dei metalli pesanti per l'uomo viene annullata dal loro inglobamento nella resina che ne impedisce qualsiasi fuoriuscita.

Poi vengono aggiunte alla miscela le cariche, come determinati tipi di carbonato di calcio finemente macinati, che facilitano il processo di trasformazione, evitano che il PVC e gli stabilizzanti aderiscano all'interno delle macchine. Le cariche possono in percentuali sino al 50%, in seguito a <<scivolamento>> delle molecole di PVC sulle superfici della carica, aumentare sino al doppio la resistenza all'urto con intaglio dei prodotti.

Infine il tutto (PVC, stabilizzanti e cariche) viene miscelato a caldo con i plastificanti e con i pigmenti, che colorano il PVC.

Per quanto concerne i plastificanti (ftalati, adipati o citrati), che sono sostanze di sintesi aggiunte alla miscela con l'obiettivo di modificare la viscosità del prodotto prima dell'uso per una migliore lavorazione o flessibilità del prodotto finito, numerosi studi hanno portato alla conclusione che essi non sono pericolosi nè per la salute nè per l'ambiente.

La colorazione del pavimento si ottiene attraverso l'aggiunta di pigmenti alla miscela. Essi vengono prodotti con le moderne tecnologie le quali cercano di ottenere pigmenti atossici e inoltre essi sono per lo più resistenti agli alcali ed ai prodotti chimici diventando così inalterati nel tempo.

Il pavimento in PVC plastificato (PVC-P) si ottiene gelificando il polimero e gli additivi descritti, procedendo così all'omogeneizzazione dei diversi componenti. Questa viene effettuata tramite un mescolatore ad alta velocità che agita insieme tutte le sostanze. L'attrito che si produce tra le pale agitatrici e il miscuglio eleva la temperatura della miscela. Questo ha come effetto che i componenti liquidi vengono assorbiti all'interno delle particelle dei polimeri e invece i componenti solidi vengono completamente dispersi.

Ottenuta la miscela, questa viene sottoposta a procedimenti di calandratura o di estrusione e taglio, giungendo così alla produzione dei pavimenti di PVC.

Derivata dalle tecniche di produzione dell'industria cartaria e della gomma la calandratura è stato il primo procedimento adottato per la lavorazione delle materie plastiche ed è divenuto di largo uso soprattutto per la trasformazione

del PVC in film e fogli di vari larghezza e spessore, con diverse gamme di finiture superficiali.

Nel processo di calandratura, il materiale plastico, che dopo la gelificazione si presenta come una miscela omogenea, viene immesso nella calandra vera e propria, riscaldata ad una temperatura massima di 100-110°C. Le calandre sono macchine composte da 4 o 5 cilindri, che possono essere disposti a forma di Z, F o L. Il loro riscaldamento è effettuato generalmente con vapore ed è molto importante avere uniformità di temperatura sui cilindri per ottenere uno spessore costante del foglio. Lo spessore desiderato si ottiene per variazione della distanza fra i cilindri. I fogli di PVC-P omogeneo prodotti per calandratura hanno uno spessore attorno ai 2-2,5 mm.

Alla calandratura seguono immediatamente a valle apparecchiature con diversi cilindri di raffreddamento. All'uscita il semilavorato passa alla bobinatrice, se in teli, e al taglio, se in quadrotti.

Un'altra tecnologia di trasformazione del PVC in teli è quella dell'estrusione. L'estrusione è il procedimento di trasformazione delle materie plastiche attualmente più diffuso ed è impiegato prevalentemente, ma non esclusivamente, per la produzione di manufatti continui come tubi, profilati, film sottili, rivestimenti continui, cavi e fili, etc.

Il corpo principale della macchina impiegata in questo processo, detta trafila o estrusore, è costituito da un cilindro entro il quale ruota una vite senza fine. Per accelerare i tempi di lavorazione e migliorare le caratteristiche di alcuni prodotti, si vanno diffondendo gli estrusori a due o più viti.

Nella lavorazione la miscela di PVC è immessa dalla tramoggia nel cilindro, dove viene progressivamente riscaldata fino alla fusione, anche per effetto del lavoro meccanico della vite stessa che, ruotando, la omogeneizza e la trasporta, sospingendola verso il foro d'uscita. Questo, detto filiera o matrice, è sagomato secondo il profilo che si vuol dare al manufatto: può essere quindi a sezione piatta per la produzione di film o laminati (come nel caso dei pavimenti

in PVC-P), a sezione di corona circolare per la produzione di tubi o film tubolari, a sezione elaborata in modo particolare per la produzione di profilati. All'uscita dalla filiera il prodotto viene raffreddato in modo che assuma definitivamente la forma voluta.

I prodotti così ottenuti, sia da calandratura che da estrusione, vengono posti in magazzino per pochi giorni in modo che si volatilizzino i residui dei composti diluenti del gel, poi vengono confezionati e posti in commercio.

Si è giunti così alla produzione dei teli o dei quadrotti di PVC-P omogeneo, la cui composizione è indicativamente così strutturata:

- 25% di PVC polimero,
- 45% di cariche,
- 28% di plastificanti,
- 2% di pigmenti e di stabilizzanti.

Secondo studi svolti dall'Assoplast (Associazione Nazionale materie plastiche, resine sintetiche), l'aggiunta di additivi e i procedimenti tecnologici, utilizzati per la trasformazione del PVC in prodotto finito, determinano impatti ambientali assai modesti.

L'inquinamento da effluenti ed emissioni in fase di trasformazione è praticamente inesistente. L'acqua viene usata solo per il raffreddamento degli impianti e non per il lavaggio, e di conseguenza può essere restituita all'ambiente senza aggiunta di carichi inquinanti.

Per quanto riguarda gli scarti di produzione, la quasi totalità di questi viene recuperata direttamente nel processo.

Dal documento "Biggforsk" del Norwegian Building Research Institute emerge che il consumo di energia durante la trasformazione della resina in manufatto varia, a seconda del procedimento e dell'oggetto fabbricato, fra i 3 MJ/kg (estrusione di tubi) e i 15 MJ/kg (iniezione di componenti termici). In particolare il processo di calandratura per la realizzazione dei pavimenti

richiede un consumo di energia (potenza elettrica) pari a 6 MJ/kg , invece il processo di estrusione in pellicola richiede un consumo che varia tra i 3 e i 10 MJ/kg. Nella tavola 37 vengono riportati i valori corrispondenti al consumo di energia per le diverse tecniche di trasformazione.

La fase di omogeneizzazione dei diversi componenti con il PVC comporta un consumo trascurabile di energia.

ESTRUSIONE	3-6 MJ/kg
ESTRUSIONE IN PELLICOLA	3-10 MJ/kg
SPALMATURA	10-12 MJ/kg
STAMPAGGIO MEDIANTE SOFFIATURA	5-15 MJ/kg
STAMPAGGIO A INIEZIONE	5-15 MJ/kg
CALANDRATURA	6 MJ/kg

Tavola 37: Consumi energetici utilizzati nelle diverse tecniche per la conversione del polimero in un prodotto finale.

(Fonte: Fossdal S., 1995)

5.3 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI MESSA IN OPERA E UTILIZZO DEI PAVIMENTI

Questa terza parte del ciclo di vita riguarderà 2 fasi, relazionate fra loro dal parametro durabilità. Esse sono:

- 1) la posa in opera e
- 2) l'utilizzo dei pavimenti in PVC.

Per la fase di posa in opera si sono individuati 3 scenari:

- ◆ *scenario 1*: teli o quadrotti incollati;
- ◆ *scenario 2*: piastrelle viniliche autoadesive;
- ◆ *scenario 3*: quadrotti autoposanti.

Invece la fase di uso, che riguarda le emissioni in aria e gli aspetti di durabilità, risulta essere per lo più comune a tutti e tre gli scenari.

5.3.1 FASE DI MESSA IN OPERA

SCENARIO 1: TELI O QUADROTTI

Dopo il processo di calandratura o estrusione seguito da eventuale taglio, il pavimento in PVC, che si presenta sia in teli che in quadrotti di varie dimensioni, si può incollare direttamente al supporto. Ma, prima di procedere all'operazione di incollaggio, è necessario preparare opportunamente il supporto. Infatti prima occorre livellare il piano di supporto per mezzo di malte plastiche a base cementizia; poi si passa all'applicazione del collante, alla stesura dei teli o dei quadrotti e alla saldatura finale delle giunzioni.

Ai fini della buona riuscita della messa in opera, il sottofondo deve trovarsi in particolari condizioni: deve essere perfettamente piano ed omogeneo, non deve presentare fughe, deve essere solido e non avere crepe di ritiro. Inoltre il sottofondo deve presentare totale assenza di polvere e di umidità per evitare che l'adesivo utilizzato per la posa possa rinvenire e deteriorarsi, causando il distacco del rivestimento. Sul mercato edilizio sono anche disponibili apposite lamine isolanti da incollare tra il sottofondo ed il pavimento che hanno la funzione di barriera all'umidità.

Gli adesivi, utilizzati per l'incollaggio del pavimento al supporto, sono di tipo acrilico per condizioni di uso normale, neoprenici o epossidici/poliuretanicici per condizioni di particolare traffico ed usura.

L'incollaggio dei teli o dei quadrotti al supporto si effettua normalmente con colle a base di resine viniliche e acriliche nel centro del telo o del quadrotto, e con colle epossidiche lungo i bordi, per ottenere un migliore fissaggio a terra ed una minore possibilità di sollevamento dei bordi stessi.

Il problema fondamentale è quello di evitare l'infiltrazione dell'acqua sotto il pavimento, problema che viene risolto con l'elettrosaldatura delle giunzioni.

L'impatto ambientale della fase di messa in opera è prevalentemente rappresentato dalle emissioni nocive in aria che si verificano a causa delle sostanze impiegate per posare il pavimento in PVC.

In questa fase si ha l'impiego di sostanze plastificanti contenute nelle malte che vengono emesse in un periodo di tempo variabile successivo alla posa.

Le malte plastiche di livellamento del supporto generano emissioni di composti organici volatili, particolarmente nei primi giorni dopo la posa. Le colle, invece, emettono altri composti organici a veloce e lenta volatilizzazione.

I composti organici volatili rilasciati durante la posa con collanti al solvente possono costituire un pericolo per gli operatori: in particolare le colle epossidiche risultano altamente tossiche e richiedono l'uso di apposite maschere di protezione per l'operatore e l'abbondante aerazione del locale.

Si stima che per le prime 24 ore un generico adesivo per pavimentazioni produca un'emissione di VOC pari a $220.000 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ora.

Per completare la posa dei teli o dei quadrotti, si saldano le giunzioni fra gli stessi a caldo o ad alta frequenza (microonde), con o senza l'aggiunta di fughe costituite da nastri colorati di PVC plastificato. Quest'ultima operazione legata alla posa in opera non produce però effetti degni di nota per la valutazione di impatto ambientale del prodotto.

SCENARIO 2: PIASTRELLE AUTOADESIVE

Il processo produttivo per ottenere le piastrelle autoadesive può essere riassunto come segue: il polimero ed i relativi additivi vengono sottoposti ad una calandratura per ottenere un telo che successivamente viene sminuzzato attraverso un mulino. Dalla macinazione il PVC risultante viene immesso in una pressa, nella quale sono alloggiati gli stampi standard per le piastrelle; le piastrelle così ottenute vengono rettificate e inviate alla spalmatura della colla; infine si protegge il collante con un film di carta speciale.

L'impatto ambientale, dovuto alla messa in opera delle piastrelle autoadesive, è rappresentato dalle emissioni nocive in aria che si verificano a causa delle sostanze utilizzate per rendere adesive le piastrelle.

SCENARIO 3: QUADROTTI AUTOPOSANTI

Di recente, per i pavimenti in PVC, sono stati messi a punto sistemi di posa alternativi all'incollaggio: esistono i cosiddetti quadrotti "autoposanti", ancora poco diffusi, che vengono posati sul supporto e che, grazie al loro elevato peso specifico ed ai micro-incastri fresati su ogni singolo elemento, rimangono solidali fra loro e ancorati al sottofondo; ciò non evita il ricorso ai collanti che però, in questo caso, possono essere di tipo reversibile a base di acqua o alcool (per un migliore riciclaggio finale). L'impatto ambientale per questo tipo di pavimento è inferiore rispetto al precedente perché, anche se rimane inalterata la fase di preparazione del sottofondo, i collanti utilizzati non usano solventi.

I quadrotti autoposanti si ottengono attraverso un processo di stampaggio e successiva fresatura dei micro-incastri.

5.3.2 FASE DI UTILIZZO DEI PAVIMENTI IN PVC

Gli impatti ambientali di questa fase sono rappresentati principalmente:

- dalle emissioni di VOC (Volatile Organic Compound) in aria, legate all'impiego delle svariate sostanze utilizzate nelle possibili modalità di posa (colle) e di manutenzione (detersivi e cere);
- dagli aspetti di durabilità'.

Le emissioni sono particolarmente importanti poiché in grado di alterare la qualità dell'aria dell'ambiente confinato, anche se la ricerca tossicologica non è ancora in grado di stabilire con precisione i loro effetti sulla salute.

La Scanvac, la federazione delle società scandinave di HVAC, ha pubblicato una classificazione di materiali nella quale essi vengono divisi in tre classi di emissioni a seconda delle loro emissioni totali di VOC (tavola 38):

GRUPPO DI EMISSIONE	TVOC MASSIMI a 20° C e umidità relativa 50%
MEC-A, materiale a basse emissioni	40 ug/mqh
MEC-B, materiale a medie emissioni	100 ug/mqh
MEC-C, materiale ad alte emissioni	parecchie centinaia

Tavola 38: Classi di emissione proposti dalla Scanvac per i materiali.

(Fonte: Baglioni A., Piardi S., 1990)

In particolare, secondo le classi Scanvac i pavimenti in PVC rientrano nella classe di emissione di VOC più alta (MEC-C), anche se il decadimento di questi composti col tempo è abbastanza rapido.

Di seguito si riportano i VOC più comuni emessi dai pavimenti in PVC; per ogni VOC si è indicato l'effetto negativo che può avere sulla salute, facendo riferimento al testo "Costruzioni e Salute" (1990) di A. Baglioni e S. Piardi, ed il limite di esposizione occupazionale tratto dalla valutazione sulle emissioni di VOC svolta dalla European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man" (1995). I composti sottolineati sono quelli con riconosciuti effetti dannosi sulla salute.

- **Alcoli - Fenoli**

- *Fenolo*: si ipotizza che abbia un'effetto tossico (non meglio specificato), il limite di esposizione occupazionale è di 10 ppm;
- 2-Etili-1-Esanolo: è un potenziale fattore di rischio per la Sick Building Syndrome (ha un odore dolce e pungente). Ha un effetto tossico (non meglio specificato), il limite di esposizione occupazionale è di 1 ppm;

- 1-Butanolo: si ipotizza che abbia un effetto tossico (non meglio specificato), il limite di esposizione occupazionale è di 100 ppm.
- **Aromatici**
 - Toluene: causa dermatiti irritative, insufficienza epatica ed è neurotossico (azioni sul sistema nervoso centrale). Il limite di esposizione occupazionale è di 100 ppm;
 - 1,2,4-Trimetilbenzene: si ipotizza che abbia un effetto tossico (non meglio specificato); il limite di esposizione occupazionale è di 100 ppm;
 - Etilbenzene: è mutageno, cancerogeno e causa irritazioni nel sangue e nel fegato. Il limite di esposizione occupazionale è di 1000 ppm;
 - o.m.p-Xileni: causa gli stessi sintomi del Toluene ma è più tossico per il fegato e il rene e meno tossico per la pelle e il sistema nervoso centrale; Il limite di esposizione occupazionale è di 1000 ppm.
- **Alcani**
 - Decano: si ipotizza che abbia un effetto tossico (non meglio specificato); il limite di esposizione occupazionale è di 100 ppm.
- **Alcheni**
 - Formaldeide: (n.b.: per quanto riguarda questa sostanza il PVC rientra nella classe di emissione più bassa secondo le classi Scanvac). Provoca irritazione del naso, della gola e dell'albero tracheobronchiale, degli occhi e della pelle. L'esposizione continua può portare inoltre ad una diminuzione della sensibilità olfattiva, sintomi di disturbo del sonno, sete eccessiva, mal di testa e sonnolenza e in alcuni casi bronchiti croniche. E' anche un potenziale cancerogeno. Il limite massimo di emissione da manufatti edilizi è di 0,1 ppm da determinarsi in locali chiusi da almeno 24 ore (circ. Min. San. n° 57, 22/06/1983).
- **Esteri e altri VOC**
 - Dietilenglicolmonobutilettere;

- *TXIB (2,2,4-Trimetil-1,3-Pentadiolo Diisobutirato)*;
- *DEHP (Ftalato dietilesilico)*: è un potenziale cancerogeno secondo l'IARC (International Association of Research on Cancer);
- Ammoniaca: (n.b.: per quanto riguarda questa sostanza il PVC rientra nella classe di emissione più bassa secondo le classi Scanvac) provoca forte irritazione delle mucose, della laringe e della trachea.

Non si dispone di dati statistici di tipo quantitativo sulle emissioni dai pavimenti in PVC in quanto tali emissioni sono molto variabili, a causa della natura eterogenea della composizione dei pavimenti che rende molto diversificati sia i tipi di inquinanti sia le quantità emesse da pavimenti diversi. Inoltre le emissioni variano molto in relazione alle condizioni di temperatura ed umidità relativa (= rapporto, espresso in percentuale, tra la quantità di vapor d'acqua contenuto in un dato volume d'aria e la quantità necessaria per saturarlo).

A titolo di esempio puramente indicativo si riportano due esperienze di misurazione di VOC svolte da:

- S. Kirchner, P. Karpe e C. Cochet presso il Dipartimento "Water, Air and Environment" del Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) in Francia;
- T. Tirkkonen, M.L. Matitnen e K. Saarela presso il Technical Research Centre of Finland (VTT).

Nella prima esperienza i test sono stati portati avanti in piccole camere ambientali che permettevano una simulazione realistica del comportamento dell'edificio. Sono state misurate le emissioni del PVC in se stesso senza sottofondo. Le condizioni standard sono state: temperatura di 23°C, umidità relativa del 45%, tasso di ricambio d'aria di 1,0 h⁻¹.

I risultati sono stati presentati in tavola 39.

COMPOSTI	TASSO DI EMISSIONE (ug/mqh)
Esteri/Altri VOC	
Isobutilacetato	0.012
Metilglicolacetato	0.043
Dietilenglicole monobutil etere	0.013 - 0.044
TXIB	0.07 - 4.825
DEHP	
Alcani/Cicloalcani	
Isoalcani	11.25 - 28
Eptano	
2,2,6-Trimetil ottano	0.069
Decano	0.035
Isodecano	0.122
n-Alcani C8-C13	3.9 - 9.7
2,2,4,6,6-Pentametilptano	0.014 - 0.083
Tridecano	0.049
Metilcicloesano	
Alcheni	
1,3,5,7-Ottatetraene	0.145
Tridecene	0.06
Aromatici	
Toluene	0.06 - 0.07
Etilbenzene	0.04 - 0.09
o,m,p-Xileni	0.024 - 0.625
m,p-Etiltoluene	1.15 - 3
Naftalene	0.015
Aromatici	0.05
Alcoli/Fenoli	
2-Propanolo	0.026
Butanolo	0.018 - 0.048
2-Etilsanolo	0.14
Cicloesanololo	0.012
2-Etossiletanololo	0.01
2-Butossiletanololo	0.008 - 0.074
Fenolo	0.004 - 0.095
Aldeidi	
Formaldeide	0.03
2-Esanal	0.052

Tavola 39: Tassi di emissione dei VOC rilasciati dai pavimenti in PVC.

(Fonte: Kirchner S., Karpe P., Cochet C., 1993)

Per quanto riguarda la seconda esperienza, i tassi di emissione dei VOC sono stati determinati usando camere di 1 m³. Prima del campionamento i materiali erano stati per due giorni nelle camere ad una temperatura di 23°C e umidità relativa del 45% con un ricambio d'aria di 0,5 l/h. Le emissioni di VOC sono

state rilevate (solo del PVC senza sottofondo) due settimane dopo averli acquistati e disimballati; i risultati sono riportati nella tavola 40.

PVC calandrato finlandese	
Composti delle emissioni	Tasso di emissione (ug/mqh)
1-Butanolo	8
Fenolo	12
Toluene	5
Ottano	1
Etilbenzene	1
m+p-Xilene	3
o-Xilene	1
1,2,4-Trimetilbenzene	1
2-Etil-1-Esanolo	49
Nonanal	1
Undecano	2
Tetradecano	1
TXIB	3
TVOC	170

Tavola 40: Tassi di emissione dei VOC rilasciati dai pavimenti in PVC.

(Fonte: Tirkonnen T., Matitnen M.L., Saarela K., 1993)

Dal confronto dei tassi di emissione dei VOC misurati nelle due esperienze con i limiti massimi di emissione, si ha che ad esempio l'emissione di fenolo nella prima esperienza è compresa tra i 0,004 e i 0,095 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, nella seconda esperienza è di 12 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ e che il limite di esposizione occupazionale è fissato a 10 ppm. Per maggiori dettagli si veda la tavola 41, che illustra il confronto tra i dati delle due misurazioni per le principali emissioni di VOC con i relativi limiti.

PRINCIPALI VOC EMESSI DAI PAVIMENTI IN PVC	TASSO DI EMISSIONE (ug/mqh)		LIMITE DI EMISSIONE (ppm)
	1° TEST	2° TEST	
		PVC CALANDRATO FINLANDESE	
Alcoli/Fenoli			
Fenolo	0.004 - 0.095	12	10
2-Etil-1-Esanolo	0.14		1
Butanolo	0.018 - 0.048	8	100
Aromatici			
Toluene	0.06 - 0.07	5	100
1,2,4-Trimetilbenzene		1	100
Etilbenzene	0.04 - 0.09	1	1000
o,m,p-Xileni	0.024 - 0.0625	4	1000
Alcani			
Decano	0.035	2	100
Alcheni			
Formaldeide	0.03		0.01
Esteri/Altri VOC			
Dietilenglicolmonobutilettere	0.013 - 0.044		
TXIB (2,2,4-Trimetil- 1,3-Pentadiolo Diisobutirato)	0.007 - 4.825	3	
DEHP (Ftalatodietilesilico)			

Tavola 41: Tabella di confronto fra i tassi di emissione dei principali VOC ottenuti dalle due esperienze e i limiti di emissione.

(Fonte: Nostra elaborazione)

Le emissioni legate ai prodotti per la manutenzione sono principalmente dovute:

- al lavaggio frequente che in genere viene fatto con l'utilizzo di acqua e di un detersivo neutro;
- ai detersivi contenenti ammoniaca e cloro che intaccano la superficie, reagendo chimicamente con essa e provocandone l'invecchiamento precoce;
- alla ceratura nei casi in cui si usino cere contenenti resine siliconiche, solventi, ammoniaca o composti del cloro.

In particolare le cere rendono il pavimento più facile da pulire, ne prolungano la durata e sono importanti per mantenerlo morbido, per non lasciarlo seccare. In genere la ceratura viene fatta con cere metallizzanti (delle emulsioni acriliche), senza uso di acqua, e può avvenire con frequenza dai 3 ai 6 mesi.

Le cere liquide autolucidanti contengono alte percentuali di siliconi, mentre i detersivi sono a base di ammoniaca e/o acido cloridrico, i cui vapori si disperdono nell'ambiente confinato. Gli eventuali parametri di valutazione di

impatto per le operazioni di manutenzione potrebbero essere legati alle emissioni di cloro nell'ambiente rispetto a valori soglia stabiliti.

Durante la fase di utilizzo, un altro impatto può essere quello che si genera in caso di incendio. I prodotti in PVC bruciando possono generare una fuga di ossigeno dall'ambiente per reazioni dei ritardanti alla fiamma, che impediscono la propagazione del fuoco mediante l'allontanamento dell'ossigeno e la sua sostituzione con composti di fluoro, bromo e cloro sprigionati per reazione, per cui risulta spesso impossibile perfino immettere ossigeno artificialmente nei locali, se non a reazione terminata. Il cloro contenuto nel polimero poi tende a volatilizzarsi spontaneamente. Il cloruro di vinile è comunque una sostanza cancerogena.

In più, se l'incollaggio è stato effettuato con colle epossidiche, si generano emissioni che non cessano praticamente mai perché queste colle, reagendo coi componenti della resina di PVC-P, trasmigrano verso la superficie o le giunzioni dei teli.

La fase di utilizzo dei pavimenti in PVC coinvolge anche gli aspetti di durabilità. In base ad un'indagine svolta presso gli operatori del settore, l'ICITE (Istituto del CNR che opera nel campo dei materiali e dei componenti per l'edilizia) ha elaborato dei valori sintetici di valutazione della durabilità dei pavimenti in PVC, valori che vengono riportati nello schema seguente:

SISTEMI TECNICI	ANNI	
	(a)	(b)
PAVIMENTI IN PVC SENZA RIVESTIMENTO IN POLIURETANO	10 - 15	5
PAVIMENTI IN PVC CON RIVESTIMENTO IN POLIURETANO	20 - 25	5 DOPO IL PRIMO PERIODO DI MAINENACE-FREE DI 5 ANNI

dove nella colonna **(a)** viene indicata la durabilità del pavimento sottoposto a regolare intervento manutentivo; in **(b)** la periodicità ottimale dell'intervento manutentivo. In genere la garanzia minima fornita dai produttori è di 5 anni.

Per una maggiore durabilità del pavimento in PVC, è possibile saldare le giunzioni a caldo o ad alta frequenza.

E' possibile inoltre la sostituzione degli elementi deteriorati che è rapida e non richiede la rottura di grandi estensioni di pavimentazione.

Nel caso di scollamento dei bordi o perdita di aderenza al supporto dei teli o dei quadrotti occorre:

- staccare e rincollare completamente il quadrotto, o
- tagliare la zona deteriorata dal telo ed eliminarla, incollando al suo posto un pezzo integro, o
- ripetere l'incollaggio dei bordi del telo.

La tavola 42 riassume gli input e gli output che si hanno nella fase di uso e manutenzione per i pavimenti in PVC.

INPUT		OUTPUT	TEMPI
	PRODOTTO IN USO	Emissioni di VOC	
Energia Materiali (cera metallizzante) Acqua	PULIZIA Spazzolatura Lavaggio Asciugatura Aspirapolvere	Emissioni in aria (VOC, ammoniaca, etc) Emissioni in acqua (acqua sporca)	ogni settimana
Energia Materiali (cera, deceranti)	MISURE PROTETTIVE Ceratura Deceratura	Emissioni in acqua (acqua sporca) Rifiuti solidi (cera usata)	2 volte l'anno
Energia Materiali (colla, telo nuovo)	RIPARAZIONE re-incollaggio	Emissioni in aria (VOC) Rifiuti solidi (colla)	di rado
Materiali (colla, telo nuovo)	SOSTITUZIONE PARTI DANNEGGIATE	Rifiuti solidi (elementi di PVC, colla, sottofondo)	di rado
Materiali (colla, telo nuovo)	SOSTITUZIONE COMPLETA		una volta ogni 15 anni

Tavola 42: Input ed output presenti nella fase di uso e di manutenzione per i pavimenti in PVC.
(Fonte: CNR-ICITE Rapporto di ricerca 8/96)

5.4 IMPATTI AMBIENTALI NELLA FASE DI DISMISSIONE DEI PAVIMENTI

Dopo la fase di utilizzo, il ciclo di vita dei pavimenti in PVC si conclude con la dismissione del prodotto. Le due fonti principali di rifiuti plastici sono l'industria trasformatrice e il post-consumo. La qualità di questi rifiuti è molto varia, in particolare sotto il profilo della contaminazione. Insieme, i produttori e i trasformatori di PVC rilavorano già ben oltre il 90% in peso dei loro scarti interni pre-consumo. Per contro solamente l'1% della quantità molto maggiore di rifiuti post-consumo viene riciclato (la quantità di rifiuti post-consumo è nettamente superiore di quella degli scarti che si ottengono durante la lavorazione del PVC).

In questa fase conclusiva della LCA si possono individuare tre potenziali scenari post-consumo per i pavimenti in PVC (tavola 43) e sono:

- ◆ *scenario 1*: confinamento in discarica;
- ◆ *scenario 2*: incenerimento;
- ◆ *scenario 3*: riciclo.

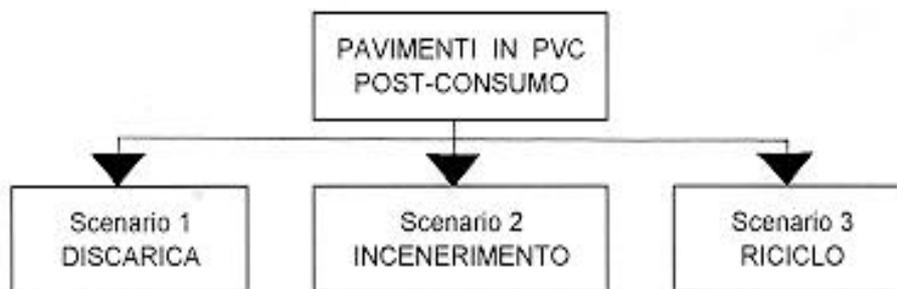


Tavola 43: Rappresentazione schematica dei possibili scenari presenti nella fase di dismissione dei pavimenti in PVC.
(Fonte: Nostra elaborazione)

In particolare lo smaltimento in discarica è la soluzione maggiormente praticata per “risolvere” il problema dei rifiuti plastici. Però la tendenza presente oggi in tutti i maggiori Paesi industrializzati è il passaggio graduale dallo smaltimento in discarica al trattamento di termodistruzione, con eventuale recupero di energia. Per ora l’incenerimento dei vecchi pavimenti non viene praticato, ma è teoricamente possibile. Per quanto concerne invece il riciclo dei pavimenti, non esistono, almeno sino ad oggi, esperienze relative a questo scenario, ma in Germania è in corso uno studio sperimentale.

5.4.1 SCENARIO 1: CONFINAMENTO IN DISCARICA

La comprimibilità del materiale, il suo scarso peso e la convenienza economica rendono la discarica il luogo privilegiato anche per l’abbandono dei vecchi pavimenti in PVC. In particolare la normativa italiana prevede come tipologia di discarica quella riservata ai rifiuti speciali dove vengono inclusi anche i rifiuti provenienti dalle attività di costruzione e demolizione.

Infatti il pavimento nella fase conclusiva del suo ciclo di vita non si presenta integro come quando è stato posato, ma contaminato con percentuali variabili di altri materiali, quali il sottofondo e il collante, che non vengono preventivamente distaccati.

L'incidenza quantitativa con cui lo specifico rifiuto "pavimento in PVC" si presenta in discarica rispetto alla totalità del materiale ivi abbandonato è la seguente: considerando che la produzione dei pavimenti vinilici assorbe circa il 5% dell'intera produzione di PVC, e che è prassi comune posare il nuovo pavimento sopra il vecchio, si rivela che la presenza di tali rifiuti in discarica è necessariamente scarsa.

Occorre precisare che i prodotti in PVC in discarica mantengono un'elevata stabilità inibendo qualunque emissione di tipo nocivo. Anche qualora si verificasse una migrazione di plastificanti dagli strati superficiali del PVC flessibile, questi sarebbero biodegradabili al 90% in 30 giorni (Solvay).

E' da notare inoltre che sono proprio i fogli in PVC plastificato o in polietilene ad alta densità ad assicurare la tenuta stagna del fondo delle discariche, impedendo così qualsiasi emissione di tipo nocivo nel suolo. Un'altra osservazione riguarda la non biodegradabilità delle materie plastiche, ad eccezione di alcuni polimeri speciali che sono capaci di autodegradarsi e di cui il PVC non fa parte.

Un'ipotetica degradazione completa del polimero di PVC, che portasse quindi alla formazione di monomeri di partenza attraverso la rottura dei legami della catena, sarebbe comunque tutt'altro che auspicabile, visto che il monomero costituente di base del PVC, il cloruro di vinile (CVM), è cancerogeno e che oltretutto in questo processo si libererebbero nell'ambiente molteplici additivi. In ogni caso una degradazione completa del PVC non si è mai osservata a temperatura ambiente, e questa stabilità del materiale inibisce in pratica ogni emissione inquinante nel suolo durante la permanenza del prodotto in discarica.

Ad ulteriore conferma di ciò, è stato dimostrato con studi scientifici che l'eventuale presenza di cloruro di vinile nel biogas non è dovuta al PVC ma ad attacchi batterici su solventi clorurati smaltiti in discarica.

In conclusione: per il PVC non avviene la decomposizione, inoltre si comporta in modo completamente neutro nelle discariche.

I potenziali impatti ambientali dovuti allo scenario <<discarica>> possono derivare dalla costruzione e dall'esercizio della discarica dei rifiuti solidi urbani (RSU).

5.4.2 SCENARIO 2: INCENERIMENTO

L'incenerimento consiste in un'ossidazione ad alta temperatura; è un'operazione che consente di ridurre in modo drastico il volume dei rifiuti (90%) nonché il loro peso (70%) e, contemporaneamente, convertire in energia i residui combustibili.

Negli impianti di incenerimento si possono distinguere:

- la fossa per la raccolta dei rifiuti: completamente isolata e mantenuta in depressione grazie all'aspirazione dell'aria di combustione;
- l'impianto per la selezione dei metalli (in modo da recuperare ed eliminare gli elementi inutili ai fini della combustione, evitando che facciano massa in seguito alla fusione);
- il carroponete con benna per il caricamento dei rifiuti alla tramoggia del forno;
- il forno che può essere a tamburo rotante, a griglia mobile o a letto fluido. Il forno è composto da una camera di combustione primaria nella quale è situata la griglia che viene raffreddata dal flusso di aria primaria. Segue la camera post-combustione. Le due camere di combustione costituiscono praticamente un corpo unico: lo scopo della post-combustione è quello di garantire l'ottimale miscelazione dei fumi della combustione primaria e la loro permanenza per 1-2 secondi ad una temperatura vicina ai 1000°C. Un

adeguato livello di turbolenza ed un conveniente eccesso di ossigeno sono garantiti dall'immissione di aria secondaria alla base della camera di post-combustione;

- la caldaia per la produzione di vapore e surriscaldatore economizzatore per il raffreddamento dei fumi: i gas vengono raffreddati fino a 250-300°C;
- il sistema di depurazione dei fumi: i gas raffreddati vengono fatti passare attraverso i sistemi di assorbimento dei macroinquinanti gassosi (lavaggio a secco, semisecco, umido) e i depolverizzatori (elettrofiltri e/o filtri di tessuto);
- il sistema di trattamento delle polveri e delle scorie: le polveri e le scorie scaricate dalle tramogge sotto la caldaia e le polveri provenienti dai filtri, dopo essere state umidificate vengono smaltite in discarica controllata (volume della parte residua circa il 15-20% del volume iniziale dei rifiuti).

Dallo smaltimento dei pavimenti in PVC, ormai degradati, è possibile recuperare energia.

L'incenerimento può essere già considerato a livello teorico una forma di riciclo, anche se quella che permette la minore valorizzazione del materiale, perché offre la possibilità di recuperare il potere calorifico della plastica, fornendo una fonte di integrazione energetica.

L'adozione dell'incenerimento è subordinata a verifiche di bilancio energetico e di impatto ambientale.

Sotto il profilo energetico, il contenuto termico dei materiali plastici può essere recuperato sotto forma di potere calorifico. E' importante osservare che il potere calorifico medio del PVC è pari a 22 MJ/kg (per riferimento quello del petrolio è di media di 42 MJ/kg e quello del carbone di 29 MJ/kg).

Il PVC può costituire combustibile alternativo, in accordo con le disposizioni legislative (D.M. n° 126 del 05/09/94), per l'utilizzo in cicli produttivi dell'industria e in impianti di produzione di energia elettrica o termica (riciclo energetico). Neanche l'eventuale presenza di residui di colla o di tracce del

sottofondo sul telo in seguito al distacco comprometterebbe una combustione del telo stesso nell'inceneritore.

In un ipotetico bilancio ambientale del PVC, la quantità di energia recuperabile dal materiale al termine della vita del prodotto si detrae dalla quantità di energia consumata per la trasformazione delle materie prime nel prodotto finale. Da questo punto di vista il PVC, come le altre materie plastiche, consente un'ottima combustione senza bisogno di aggiungere nafta.

Sotto l'aspetto del recupero energetico quindi, tenendo conto del rendimento della combustione e delle perdite di distribuzione del vapore e dell'elettricità fra l'inceneritore ed i luoghi di utilizzo, si può presumere che 1 MJ di energia ottenuta dall'incenerimento del PVC equivalga ad un'energia da combustibile classico in media di 0,5 MJ ma che può arrivare fino a 0,8 MJ (Solvay).

Dal punto di vista ambientale si impone invece la considerazione dei rilevanti problemi legati alle possibili emissioni nocive e soprattutto alla formazione delle diossine, le quali possono essere la causa di un probabile "rischio cancerogeno" (PVC, 1994).

L'incenerimento del PVC di fatto produce alcune emissioni che è possibile limitare o eliminare attraverso specifici sistemi di abbattimento che consentono di portare i valori delle sostanze emesse sotto i quantitativi previsti dalla legislazione. A questo scopo sono necessari la conoscenza della composizione chimica dei prodotti che si vanno ad incenerire e del loro contenuto di prodotti inorganici e di metalli (dovuti alle additivazioni), nonché una corretta progettazione e manutenzione degli impianti di incenerimento. In particolare per evitare il rischio di diossina, gli inceneritori vanno gestiti secondo la regola delle 4t che impone dei valori precisi a: temperatura, turbolenza, tempo di transito, trattamento alcalino dei fumi. La normativa CEE prescrive una temperatura minima di 850°C nel combustore ed indica che il tempo minimo di permanenza dei fumi nella camera di post-combustione sia di 2 secondi e che la velocità dei fumi sia superiore a 10 m/sec.

Occorre segnalare che nella pratica corrente i rifiuti di PVC non vengono mai bruciati da soli ma insieme ai RSU. Quindi le emissioni in aria generate nello incenerimento dei RSU non sono individuabili come attribuibili specificatamente ai rifiuti in PVC.

Il cloro è tipicamente considerato responsabile delle diossine.

E' tuttavia possibile stimare la frazione di cloro fornito dal PVC: per 1 tonnellate di RSU vi sono 7 kg di cloro, di cui 3,5 circa dagli altri rifiuti (domestici, scarti di cucina o di giardinaggio contenenti sale comune, carta, spazzatura stradale, etc.). E' importante però precisare che la frazione del PVC costituita dall'elemento cloro, pari al 57%, è non combustibile (Solvay).

La formazione di diossine, che deriva anche dalla presenza di cloro in sostanze organiche come le plastiche, oltre che da composti fenolici (chiamati nell'insieme precursori), avviene complessivamente (cioè tra tutte le famiglie, anche quelle non tossiche) in una quantità stimata di 1 mg/ton di rifiuti domestici, valore che è 10^6 volte inferiore alla quantità di cloro presente. Si è infatti ormai scientificamente provato che non esiste una correlazione diretta fra la quantità di cloro presente negli RSU e la quantità di diossina formata: anche eliminando il PVC dai rifiuti rimarrà pur sempre abbastanza cloro perché questa debole dose di diossina (1mg/ton) continui a formarsi. Quindi la quantità di diossine emesse dagli impianti di incenerimento è indipendente dalla quantità di PVC presente nei rifiuti. Essa dipende invece dalle condizioni di combustione e di trattamento dei fumi. La normativa CEE fissa in $0,1 \mu\text{g TEQ}/\text{Nm}^3$ il limite di emissione per le diossine, dove TEQ rappresenta il valore di tossicità equivalente, ottenuto moltiplicando la quantità di sostanza per il suo coefficiente di tossicità.

Durante l'incenerimento, dai prodotti clorati si forma acido cloridrico (HCl) che viene captato dall'impianto di depurazione dei fumi oggi obbligatorio (direttive CEE 89/369 e 89/429).

Anche in assenza del PVC dagli RSU l'acido cloridrico verrebbe emesso comunque, semplicemente perché molti prodotti contengono sale da cucina. La presenza dell'HCl nei fumi di combustione aiuta peraltro ad abbattere i metalli pesanti, come per es. il mercurio, senza ulteriori aggiunte di altri prodotti.

Esistono diversi metodi di neutralizzazione o recupero dell'HCl. Il metodo di neutralizzazione più usato è l'aggiunta di latte di calce, con formazione di cloruro di calcio, eliminabile in discariche controllate. Previa depurazione, il cloruro di calcio si può usare come sale antighiaccio sulle strade.

Un altro metodo di neutralizzazione dell'HCl è l'aggiunta di soda caustica, con produzione di cloruro di sodio, cioè sale da cucina. Il maggior costo di questo processo può essere compensato in parte dal risparmio sul costo di smaltimento in discarica del cloruro di calcio. In Germania, il sale così ottenuto viene già riutilizzato in diversi processi chimici, fra cui l'elettrolisi per la produzione del cloro (una delle materie prime per la produzione del PVC). Così si chiude il ciclo sale/cloro (tavola 44).

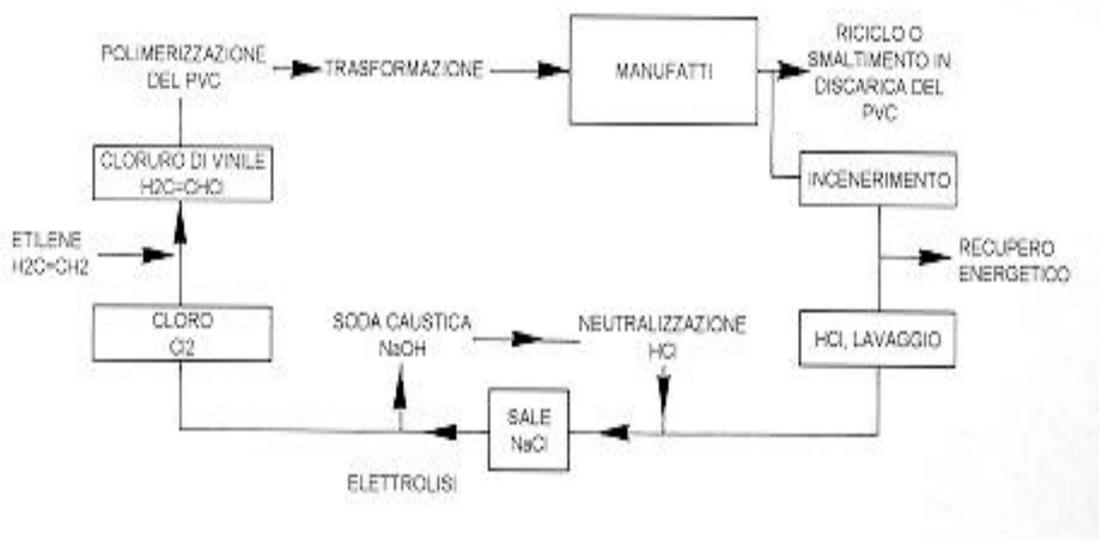


Tavola 44: Rappresentazione schematica del ciclo del sale.
(Fonte: EVC, 1991)

Un potenziale processo ancora allo studio come impianto pilota è il recupero dell'HCl per la produzione di acido cloridrico per uso industriale.

Il limite di emissione in aria per l'acido cloridrico dagli inceneritori è di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il limite che può essere rispettato solo con il lavaggio dei fumi anche in assenza di PVC dai rifiuti.

Si precisa comunque che, per assurdo, anche nell'ipotesi non reale di assenza della depurazione dei fumi, il contributo complessivo di tutti gli inquinanti emessi dall'inceneritore (HCl, SO_2 , NO_x e HF) alla formazione delle piogge acide sarebbe dello 1%.

Si registra peraltro che l'acido cloridrico rappresenta il 2% dell'acidità dell'atmosfera (da altre fonti, oltre che dall'incenerimento), mentre si stima che nella realtà solo lo 0,3% delle piogge acide provenga dall'incenerimento del PVC (Solvay).

Con l'incenerimento si formano anche emissioni di CO_2 che sono tipiche di tutti i processi di combustione. Gli attuali impianti sono in grado di mantenere tali emissioni nei valori consentiti dalla legislazione.

5.4.3 SCENARIO 3: RICICLO

Il riciclo di prodotti di PVC sia a corta vita che a lunga vita si sta sempre più diffondendo. Per il riciclo di prodotti come imballaggi, film e bottiglie esistono già le necessarie tecnologie di base, ed inoltre in alcuni paesi europei si sta già cominciando a riciclare prodotti a lunga vita quali pavimentazioni, profili-finestra e tubi attraverso consorzi di industrie del medesimo ramo (EVC, 1991). In particolare per rendere attuabile il riciclaggio di pavimenti in PVC, la condizione preliminare è un'agevole separazione del telo dal sottofondo e dai collanti che lo tengono ad esso ancorato. Risulta quindi necessario valutare il grado di agevolezza di tale operazione che dipende fortemente dalle diverse

modalità di posa e di disassemblaggio ed in particolare dalla reversibilità dei collanti.

E' da tenere comunque presente che le alternative sotto descritte non si verificano nella prassi corrente per motivi di sconvenienza economica ed anche di scarsa sensibilità al tema del riciclaggio. Si è comunque ritenuto interessante esplorare le diverse possibilità di disassemblaggio consentite dai vari collanti presenti sul mercato, anche perché tali operazioni risultano indispensabili per poter procedere al riciclo, le cui tecnologie verranno descritte più avanti.

REVERSIBILITÀ DEI COLLANTI

Attualmente gli incollaggi vengono praticati, sia per i teli che per i quadrotti, con adesivi che presentano particolari caratteristiche di tenacità. Di seguito se ne elencano alcuni.

- *Resine acriliche in dispersione acquosa*: a livello sperimentale si può ipotizzare che tali collanti possano essere separati dal pavimento solo se sottoposti ad immersione in acqua per un certo periodo di tempo. In mancanza di questo trattamento il distacco di questo tipo di colle non risulta definitivo, rimarrebbe infatti uno strato di circa 1 mm di adesivo sempre attaccato al telo/lastra. Tale soluzione è scarsamente praticabile per gli evidenti motivi di tempi e di disponibilità di spazi adeguati per l'immersione e l'asciugatura ed anche per la scarsa convenienza economica.
- *Adesivi neoprenici (neoprene=gomma sintetica)*: questi adesivi sono reversibili con solventi tipo benzina. Sempre a livello sperimentale si può ipotizzare un'applicazione di solvente, tipo benzina, che renderebbe possibile la separazione. In mancanza di tale trattamento, al momento dell'ipotetico distacco, rimarrebbe sempre attaccato al telo/lastra uno strato di adesivo, quantificabile in 1 mm.

- *Colle epossidiche/poliuretatiche*: tenacissime e praticamente non più reversibili. La colla fa maggiormente presa sul sottofondo in cemento che sul telo, pertanto, al momento dello strappo, è possibile che del cemento rimanga attaccato al telo in un velo di 1 mm circa, e che la colla rimanga ancorata al sottofondo.

Sempre da verificare nella prassi, esistono strumenti attualmente utilizzati per pulire i sottofondi in cemento, in grado di separare la colla dal pavimento e sono:

- sverniciatori a freddo del tipo di quelli impiegati per distaccare il film di vernice dal legno, usati attualmente per togliere l'adesivo dal supporto, efficaci per almeno il 90% della superficie, che però, usati su teli o su quadrotti in PVC, intaccherebbero anche il PVC stesso;
- apparecchi di tipo meccanico, quali raschiatori e fresatrici, in grado di asportare tracce o strati veri e propri di colla.

Gli adesivi elencati più sopra hanno rimpiazzato le colle utilizzate in passato e ormai superate che, a differenza delle attuali, si distaccavano dal supporto troppo facilmente. Tra le colle non più utilizzate si trovano:

- la colla al caucciù, che non viene più impiegata in quanto permetteva troppo facilmente il sollevamento del telo (alla minima infiltrazione) compromettendo così le prestazioni del pavimento. La colla al caucciù è reversibile con l'alcol;
- le colle viniliche in dispersione acquosa, che si distaccavano anch'esse facilmente con l'umidità, e per le quali valgono quindi le considerazioni fatte per la colla al caucciù.

Di seguito verrà descritta la tecnologia del riciclo meccanico in quanto è attuabile anche per il PVC. Comunque non si deve dimenticare che per la valorizzazione delle materie plastiche esiste anche il riciclo chimico, il quale consiste nella depolimerizzazione dei rifiuti plastici e nel conseguente recupero

dei monomeri da riutilizzare nella preparazione di nuove resine. A differenza di altre materie plastiche, il PVC però non si può depolimerizzare, quindi si tenta di recuperarlo mediante separazione da altri polimeri con solventi selettivi. Di questo processo non è stata ancora dimostrata la validità su scala industriale e occorreranno ulteriori studi perché esso possa diventare tecnicamente ed economicamente fattibile (EVC, 1991).

RICICLO MECCANICO

Il riciclo dei pavimenti in PVC è tecnicamente possibile anche se viene praticato unicamente in alcuni contesti.

L'esperienza più avanzata è quella in corso a Troisdorf in Germania, dove un consorzio di produttori di PVC e di produttori di pavimentazioni (l'AgPR, Arbeitsgemeinschaft für PVC-Bodenbelag Recycling) si occupa del ritiro e del riciclo delle pavimentazioni in PVC usate. A Troisdorf l'AgPR ha realizzato un primo impianto pilota nel dicembre del 1990 (Großefehn in East Friesland), che è stato subito affiancato da un secondo impianto più sofisticato a riciclo chiuso (1993) e di cui si fa riferimento di seguito.

La tecnologia utilizzata è quella del riciclo meccanico che consiste nella rilavorazione del PVC proveniente dal post-consumo e nel suo riutilizzo nei diversi cicli produttivi di manufatti in PVC. Questo riciclo, nel caso particolare, tende a micronizzare i vecchi pavimenti.

I teli di scarto vengono immessi nell'impianto dove hanno luogo le seguenti fasi (tavola 45):

- macinazione grossolana,
- triturazione in mulino a martelli,
- criomacinazione ad una temperatura di 20-25°C con l'ausilio di azoto liquido,
- vaglio finale in setacci per l'omogeneizzazione.

Le suddette fasi consentono di migliorare ad ogni passaggio la qualità del riciclato.

La polvere così ottenuta, la cui composizione chimica è rimasta immutata, viene normalmente usata per la produzione dello strato inferiore di supporto dei nuovi pavimenti calandrati.

La produzione di nuova resina viene praticata con l'aggiunta di plastificanti e additivi o in miscela con PVC vergine.

Le proporzioni ottimali secondo cui dosare il polimero vergine con quello riciclato sono in funzione della natura del materiale utilizzato e della perdita prestazionale che si è disposti ad accettare.

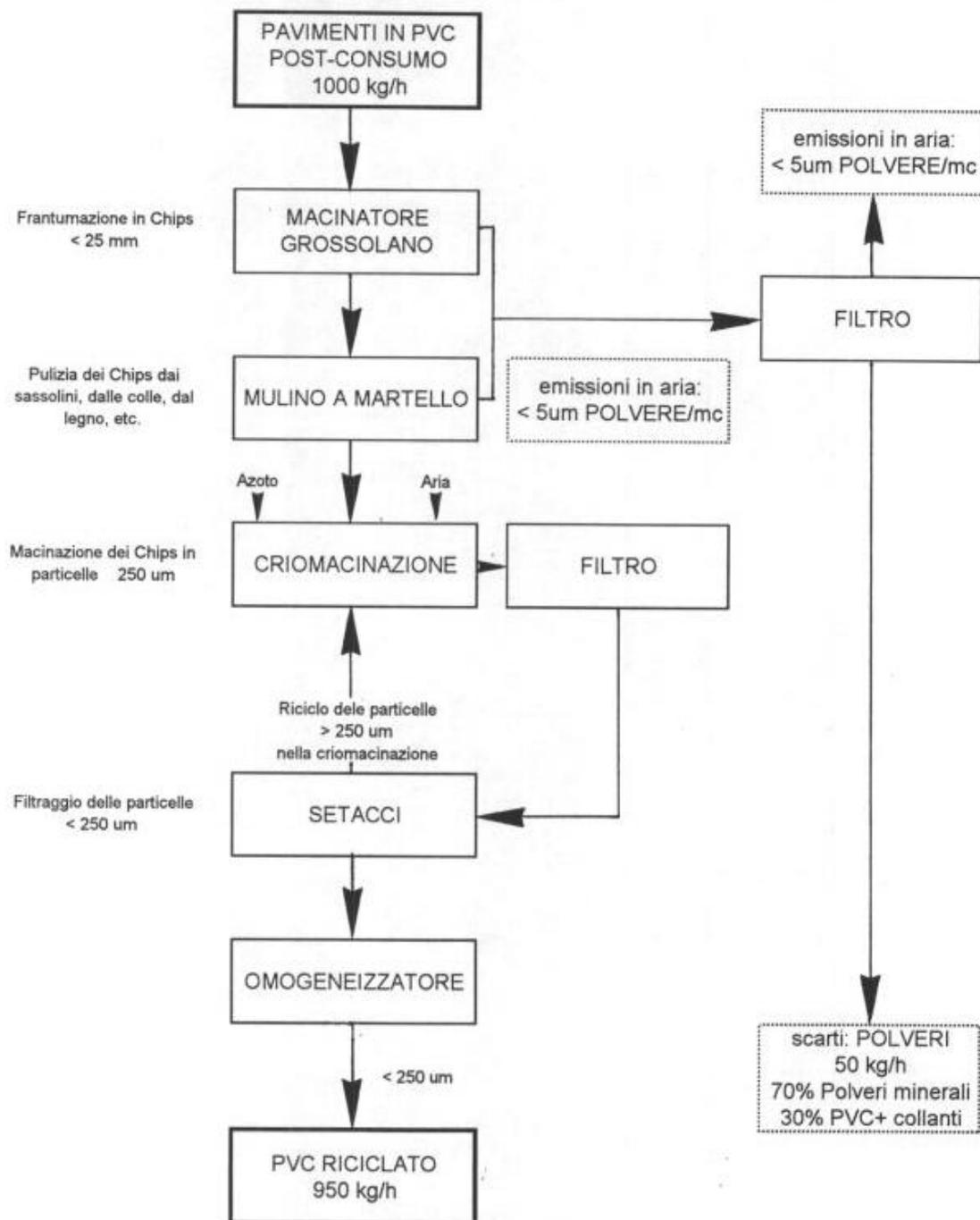


Tavola 45: Rappresentazione schematica della tecnologia di riciclo meccanico dei pavimenti in PVC, utilizzata in Germania. (Fonte: CNR-ICITE)

A differenza della termodistruzione con recupero energetico e del conferimento in discarica, il riciclaggio è l'alternativa che consente la maggior valorizzazione del rifiuto in quanto recupera l'intera energia precedentemente impiegata per estrarre, raffinare, dare forma di prodotto finito (polvere o fiocchi di PVC) a risorse naturali come il petrolio, il sale e il metano.

Il principale limite del riciclaggio sta nell'esigenza di avere materiali accuratamente separati e col più basso grado di contaminazione possibile. La qualità del rigenerato è fortemente dipendente, oltre che dal grado di omogeneità degli scarti, anche dalla loro "storia" (esposizione alla luce, al calore, etc.). Di conseguenza elevati contenuti di impurità, presenza contemporanea di polimeri incompatibili o di polimeri degradati abbassano fortemente le prestazioni dei materiali rigenerati.

Il materiale riciclato, ottenuto dall'impianto di Troisdorf (che è in grado di eliminare completamente le impurità), offre le stesse caratteristiche prestazionali del polimero vergine ad eccezione del colore (un grigio uniforme), che costituisce il principale vincolo al riutilizzo: non sarà infatti più reimpiegabile per le parti a vista quali le superfici di finitura.

Il riciclo meccanico è applicabile più volte, ma le caratteristiche del materiale ottenuto si indeboliscono ad ogni trattamento successivo, fino ad un punto in cui si dovrà passare alla scissione del polimero in materie prime petrolchimiche (decomposizione chimica) o all'incenerimento.

Il riciclo meccanico del materiale richiede uno scarso apporto di energia e lascia intatta la possibilità di un successivo recupero energetico: il consumo dell'impianto di trattamento precedentemente citato è di 2000 KWatt in 8 ore per 9158 kg di materiale in entrata, cioè 0,218 KWatt per ogni kg di prodotto riciclato.

Le uniche emissioni al camino dall'impianto di riciclaggio esaminato sono costituite da polveri in una concentrazione inferiore ai 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'aria.

Oltre al riciclaggio del materiale viene anche praticato il riciclaggio delle cariche, che costituisce una soluzione complementare al riciclo meccanico normalmente attuata in presenza di plastiche miste, quando non è possibile separare o decontaminare i materiali in modo economico.

Il riciclo delle cariche consente di recuperare acido cloridrico per uso industriale ed energia, ma attualmente per tali processi esistono solo impianti sperimentali.

Capitolo 6

INVENTARIO DEGLI IMPATTI PER UN'UNITA' FUNZIONALE DI PAVIMENTO

Nel Capitolo viene redatto l'inventario degli impatti, fase che è consistita nel computo degli input e degli output per tutte le fasi del ciclo di vita per unità funzionale del pavimento in PVC scelta (1mq di pavimentazione).

Sulla base delle descrizioni svolte nei paragrafi precedenti è stato redatto l'inventario degli impatti nel ciclo di vita di un'unità funzionale di pavimento in PVC. I dati saranno utilizzati come riferimento statistico per lo strumento di caratterizzazione ambientale che si intende elaborare.

6.1 METODO UTILIZZATO PER L'INVENTARIO

OBIETTIVO DELL'ANALISI E TIPO DI DATI RACCOLTI

Obiettivo dell'inventario è quello di predisporre di dati quantitativi sul ciclo di vita dei pavimenti in PVC calcolati su una media statistica europea. I dati sono stati estrapolati da analisi ambientali dell'APME (Associazione Europea dei Produttori di Materie Plastiche) per quanto riguarda la produzione del polimero, da una ricerca ICITE/Comunità Europea per la produzione del telo, da letteratura in bibliografia per quanto riguarda le emissioni di VOC dalle colle e

dai pavimenti, gli impatti ambientali del conferimento in discarica, dell'incenerimento e del riciclo .

DEFINIZIONE DELL'UNITA' FUNZIONALE

Si è scelto di considerare il ciclo di vita di 1 metro quadro di una pavimentazione in lastre o fogli in PVC-P omogeneo prodotte per calandratura da una miscela di densità pari a $1,35 \text{ g/cm}^3$. I fogli hanno uno spessore di 2,5 mm (si veda UNI 7071): 1 metro quadrato di pavimentazione con tali caratteristiche avrà quindi un peso di kg 3,4.

I componenti della miscela sono:

- polimero di PVC sottoforma di granuli;
- stabilizzanti a base di metallo (piombo, cadmio, bario, stagno o composti dello zinco) che vengono fissati nel prodotto;
- plastificanti: ftalati, adipati o citrati;
- cariche e pigmenti: gesso, caolino, farina di quarzo, nerofumo.

La norma UNI 7071 sui pavimenti vinilici omogenei (Prescrizioni) non specifica le quantità dei singoli materiali di base contenuti nella miscela PVC-P ma solo le prestazioni che il pavimento finito dovrà avere. Si può ipotizzare una composizione percentuale del pavimento in PVC-P omogeneo così strutturata rispetto ai materiali di base sopra elencati:

- 25% PVC polimero,
- 45% cariche,
- 28% plastificanti,
- 2% pigmenti e stabilizzanti.

1 metro quadro di pavimento in PVC-P omogeneo con la suddetta composizione percentuale, contiene all'incirca le seguenti quantità di tali materiali di base:

- kg 0,850 di PVC polimero,
- kg 1,530 di cariche,
- kg 0,952 di plastificanti,
- kg 0,680 di pigmenti e stabilizzanti.

A completamento della definizione dell'unità funzionale, si assume che il pavimento duri 15 anni; questo dato sarà utilizzato per computare input e output della fase di utilizzo e manutenzione.

CONFINI DELL'ANALISI

L'inventario è stato svolto a partire dall'estrazione delle materie prime necessarie alla produzione del monomero di CVM, per chiudere con la dismissione dell'unità funzionale. Per i materiali ausiliari (stabilizzanti, plastificanti, cere, etc.) è stato considerato solo il loro consumo in peso e non gli altri impatti ambientali necessari alla loro produzione.

Si è inoltre optato per non considerare gli impatti legati al trasporto in tutto il ciclo di vita per difficoltà legate sia alla disponibilità di dati, sia alla non definita dimensione territoriale dell'analisi.

6.2 INVENTARIO

L'analisi di inventario è consistita nel computo degli input e degli output per tutte le fasi del ciclo di vita dell'unità funzionale. I risultati sono riportati in tre

tabelle corrispondenti a tre scenari finali della dismissione (si veda il paragrafo 6.3). Di seguito sono illustrati i criteri di calcolo applicati.

Processo di polimerizzazione

Come accennato, i dati disponibili sono quelli tratti dai bilanci elaborati dall'APME; in particolare l'analisi dell'APME fornisce gli input (consumi energetici e materie prime) e gli output (emissioni e scarti) per la polimerizzazione di 1 kg di PVC; tali dati sono stati moltiplicati per 0,850 vale a dire per il quantitativo di polimero che entra far parte dell'unità funzionale "1 mq di pavimento".

Ad esempio, il consumo energetico per la polimerizzazione di 1 kg di PVC è indicato dall'APME in 37,24 MJ; il consumo di energia per l'unità funzionale per quanto riguarda la fase di polimerizzazione sarà: $37,24 \text{ MJ/kg} \times 0,85 \text{ kg} = 31,654 \text{ MJ/unità funzionale}$.

Lo stesso computo è stato fatto per tutti i dati APME relativi alla polimerizzazione.

Processo di produzione

Per questa fase sono stati computati i consumi energetici sulla base di dati statistici europei resi disponibili all'interno di una ricerca ICITE/Comunità Europea; per i consumi di materie prime si sono considerati i dati citati nella definizione dell'unità funzionale, vale a dire kg di cariche, plastificanti, stabilizzanti etc., che devono essere addizionati al polimero. Per le emissioni non sono stati reperiti dati utilizzabili. La maggior parte delle aziende fornisce dati quantitativi sulle emissioni ai camini che sono difficilmente trasformabili in emissioni per unità funzionale. Tali dati sono trascritti in corsivo nelle tavole riportate nel paragrafo 6.3.

Posa in opera

Per questa fase non è stato possibile inventariare gli impatti perchè i dati in questione sarebbero relativi solo alle emissioni di Composti Organici Volatili da parte delle diverse colle utilizzate nelle tre tecniche di posa; di fatto in letteratura le misurazioni di tali emissioni, effettuate da un numero limitato di laboratori, sono molto diverse tra loro e non consentono la individuazione di medie statistiche affidabili.

Uso e Manutenzione

Per questa fase sono stati computati i consumi dei materiali relativi alla posa (collanti) e alla manutenzione (cere); in particolare si è considerato che la ceratura avvenga una volta l'anno per 15 anni.

Per quanto riguarda le emissioni di Composti Organici Volatili, purtroppo vale lo stesso discorso della disponibilità di dati riferiti per la fase di posa in opera. Non si esclude che tale problema possa un domani essere ovviato e l'inventario possa essere completato.

Dismissione

La dismissione è stata considerata per tre scenari: conferimento in discarica, incenerimento e riciclo.

- Per il conferimento in discarica è stato necessario computare il consumo di territorio che è stato stimato pari al volume dell'unità funzionale; per quanto riguarda emissioni in falda, si è optato per considerarle pari a zero.
- Per l'incenerimento sono state svolte le seguenti considerazioni:
 - ipotizzando un incenerimento con recupero di energia, occorre moltiplicare il potere calorifico del PVC (pari a 22 MJ/kg) per il peso dell'unità funzionale (3,4 kg) e per un coefficiente pari a 0,5 che considera l'efficienza del

rendimento della combustione in inceneritore: $22 \text{ MJ/kg} \times 3,4 \text{ kg} \times 0,5 = 37,4 \text{ MJ}$;

- per il calcolo delle emissioni dall'incenerimento, si dispone dei dati relativi alla combustione di Rifiuti Solidi Urbani (RSU) di cui si stima che il PVC rappresenti lo 0,7 %, vale a dire che su 1 tonnellata di RSU vi sono 7 kg di PVC. In letteratura risulta che la combustione di 1 tonnellata di RSU produce 9 kg di acido cloridrico (HCl) e 0,004 grammi di diossine; trasformando questi dati per computare il contributo di 3,4 kg di PVC (vale a dire l'unità funzionale) si ottiene l'emissione di 30,6 grammi di HCl e di 0,00016 grammi di diossine.

- Per il riciclo ci si è avvalsi di dati reperiti presso un consorzio di produttori tedeschi (AgPR) che ha attivato un circuito di recupero di pavimenti in PVC dopo il loro utilizzo (vedi capitolo 5 - par. 5.4.3). Si è assunto quindi che sia possibile operare un riciclo a circuito chiuso, vale a dire reimmettere la materia prima secondaria, ottenuta dal riciclo, nella produzione di nuovi pavimenti ad opera degli stessi produttori.

Quindi nell'inventario dei consumi di risorse è stato computato il risparmio di nuova materia prima secondo il seguente criterio di calcolo: il processo di riciclo rende disponibile come nuovo polimero il 95% del prodotto post-consumo immesso; di tale 95 % il 30% è riutilizzato nella produzione di nuovi pavimenti; per ogni materia prima necessaria alla polimerizzazione (petrolio, gas, acqua, bauxite, etc.) si è calcolato il 30% del 95%.

Sempre dalla stessa esperienza del consorzio AgPR sono stati dedotti i dati sui consumi energetici e sulle emissioni inquinanti del riciclo.

6.3 RISULTATI DELL'INVENTARIO

In questo paragrafo vengono riportati in tre tavole i risultati dell'analisi di inventario svolta lungo tutto il ciclo di vita per l'unità funzionale considerata dei pavimenti in PVC.

Le tre tavole corrispondono ai tre potenziali scenari individuati nella fase di dismissione: conferimento in discarica, incenerimento e riciclo.

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Discarica	TOTALE
Consumi Energetici (MJ)	+ 31,6540	+ 20,4000	+ 0,0000		dato non reperito		+ 52,0540
Materie prime (grammi)							
Petrolio	+ 340,0000						+ 340,0000
Gas	+ 255,0000						+ 255,0000
Minerale ferroso	+ 0,3400						+ 0,3400
Pietra calcare	+ 1,3600						+ 1,3600
Acqua	+ 1.615,0000						+ 1.615,0000
Bauxite	+ 0,1870						+ 0,1870
Cloruro di sodio	+ 586,5000						+ 586,5000
Sabbia	+ 1,0200						+ 1,0200
Cariche		+ 1.530,0000					+ 1.530,0000
Plastificanti		+ 952,0000					+ 952,0000
Pigmenti e altro		+ 68,0000					+ 68,0000
Colle e adesivi			+ 300,0000				+ 300,0000
Cera (50 gr/mq x 15 volte)					+ 750,0000		+ 750,0000
Emissioni in aria (grammi)							
Polveri	+ 3,3150	0,01 mg/m3					+ 3,3150
Plastificanti		0,005 mg/m3					
Ossido di carbonio (CO)	+ 2,2950						+ 2,2950
Anidride carbonica (CO2)	+ 1.652,4000						+ 1.652,4000
Ossidi di zolfo (SOx)	+ 11,0500						+ 11,0500
Ossidi di azoto (NOx)	+ 13.600,0000						+ 13.600,0000
Cloro (Cl)	+ 0,0017						+ 0,0017
Acido cloridrico (HCl)	+ 0,1955						+ 30,7950
Cloruro di vinile (VCM)	0,15 ppm						0,15 ppm
Diossine							+ 0,000016
Idrocarburi	+ 17,0000						+ 17,0000
Metalli	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti organici clorurati	+ 0,6120						+ 0,6120
TVOC emessi da colle, sigillanti pavimento e cere				0,002 g/mq h			0,002 g/mq h

segue

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Discarica	TOTALE
Emissioni in acqua (grammi)							
COD	+ 0,9350						+ 0,9350
BOD	+ 0,0680						+ 0,0680
Acidi come H+	+ 0,0935						+ 0,0935
Metalli	+ 0,1700						+ 0,1700
Ioni Cloruro	+ 34,0000						+ 34,0000
Composti Organici Disciolti	+ 0,8500						+ 0,8500
Particelle Solide Sospese	+ 2,0400						+ 2,0400
Petrolio	+ 0,0425						+ 0,0425
Particelle Solide Disciolte	+ 0,4250						+ 0,4250
Altri Nitrogeni	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti Organici Clorurati	+ 0,0085						+ 0,0085
Ioni Solfato	+ 3,6550						+ 3,6550
Ioni Sodio	+ 1,9550						+ 1,9550
Rifiuti solidi (grammi)							
Rifiuti industriali	+ 1,5300						+ 171,5300
Scarti minerali	+ 56,1000						+ 56,1000
Scorie e ceneri	+ 39,9500						+ 39,9500
Sostanze chimiche inerti	+ 11,9000						+ 11,9000
Sostanze chimiche regolate	+ 1,0200						+ 1,0200
Sfridi		+ 0,0000	+ 68,0000				+ 68,0000
Consumo di territorio (cm3)						+ 2.500,0000	+ 2.500,0000

Tavola 46: Risultati dell'inventario per lo scenario discarica.
(Fonte: CNR-ICITE, Rapporto di ricerca 8/96)

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Incenerimento	TOTALE
Consumi Energetici (MJ)	+ 31,6540	+ 20,4000	+ 0,0000		dato non reperito	- 37,4000	+ 14,2500
Materie prime (grammi)							
Petrolio	+ 340,0000						+ 340,0000
Gas	+ 255,0000						+ 255,0000
Minerale ferroso	+ 0,3400						+ 0,3400
Pietra calcare	+ 1,3600						+ 1,3600
Acqua	+ 1.615,0000						+ 1.615,0000
Bauxite	+ 0,1870						+ 0,1870
Cloruro di sodio	+ 586,5000						+ 586,5000
Sabbia	+ 1,0200						+ 1,0200
Cariche		+ 1.530,0000					+ 1.530,0000
Plastificanti		+ 952,0000					+ 952,0000
Pigmenti e altro		+ 68,0000					+ 68,0000
Colle e adesivi			+ 300,0000				+ 300,0000
Cera (50 gr/mq x 15 volte)					+ 750,0000		+ 750,0000
Emissioni in aria (grammi)							
Polveri	+ 3,3150	0,01 mg/m3					+ 3,3150
Plastificanti		0,005 mg/m3					
Ossido di carbonio (CO)	+ 2,2950						+ 2,2950
Anidride carbonica (CO2)	+ 1.652,4000						+ 1.652,4000
Ossidi di zolfo (SOx)	+ 11,0500						+ 11,0500
Ossidi di azoto (NOx)	+ 13.600,0000						+ 13.600,0000
Cloro (Cl)	+ 0,0017						+ 0,0017
Acido cloridrico (HCl)	+ 0,1955					+ 30,6000	+ 30,7950
Cloruro di vinile (VCM)	0,15 ppm						0,15 ppm
Diossine						+ 0,000016	+ 0,000016
Idrocarburi	+ 17,0000						+ 17,0000
Metalli	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti organici clorurati	+ 0,6120						+ 0,6120
TVOC da colle, sigillanti, pavimento e cere (g/mq/h)				0,002 g/mq h			0,002 g/mq h

segue

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Incenerimento	TOTALE
Emissioni in acqua (grammi)							
COD	+ 0,9350						+ 0,9350
BOD	+ 0,0680						+ 0,0680
Acidi come H+	+ 0,0935						+ 0,0935
Metalli	+ 0,1700						+ 0,1700
Ioni Cloruro	+ 34,0000						+ 34,0000
Composti Organici Disciolti	+ 0,8500						+ 0,8500
Particelle Solide Sospese	+ 2,0400						+ 2,0400
Petrolio	+ 0,0425						+ 0,0425
Particelle Solide Disciolte	+ 0,4250						+ 0,4250
Altri Nitrogeni	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti Organici Clorurati	+ 0,0085						+ 0,0085
Ioni Solfato	+ 3,6550						+ 3,6550
Ioni Sodio	+ 1,9550						+ 1,9550
Rifiuti solidi (grammi)							
Rifiuti industriali	+ 1,5300						+ 1,5300
Scarti minerali	+ 56,1000						+ 56,1000
Scorie e ceneri	+ 39,9500						+ 39,9500
Sostanze chimiche inerti	+ 11,9000						+ 11,9000
Sostanze chimiche regolate	+ 1,0200						+ 1,0200
Sfridi		+ 0,0000	+ 68,0000				+ 68,0000

Tavola 47: Risultati dell'inventario per lo scenario incenerimento.
(Fonte: CNR-ICITE Rapporto di ricerca 8/96)

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Riciclo	TOTALE
Consumi Energetici (MJ)	+ 31,6540	+ 20,4000	+ 0,0000		dato non reperito	+ 5,00	+ 57,0500
Materie prime (grammi)							
Petrolio	+ 340,0000					- 96,9	+ 243,1000
Gas	+ 255,0000					- 72,65	+ 182,3500
Minerale ferroso	+ 0,3400					- 0,0969	+ 0,2431
Pietra calcare	+ 1,3600					- 0,3876	+ 0,9724
Acqua	+ 1.615,0000					- 460,275	+ 1.154,7430
Bauxite	+ 0,1870					- 0,0532	+ 0,1338
Cloruro di sodio	+ 586,5000					- 167,1525	+ 419,3475
Sabbia	+ 1,0200					- 0,2907	+ 0,7293
Cariche		+ 1.530,0000					+ 1.530,0000
Plastificanti		+ 952,0000					+ 952,0000
Pigmenti e altro		+ 68,0000					+ 68,0000
Colle e adesivi			+ 300,0000				+ 300,0000
Cera (50 gr/mq x 15 volte)					+ 750,0000		+ 750,0000
Emissioni in aria (grammi)							
Polveri	+ 3,3150	0,01 mg/m3				0,000017 mg	+ 3,3150
Plastificanti		0,005 mg/m3					
Ossido di carbonio (CO)	+ 2,2950						+ 2,2950
Anidride carbonica (CO2)	+ 1.652,4000						+ 1.652,4000
Ossidi di zolfo (SOx)	+ 11,0500						+ 11,0500
Ossidi di azoto (NOx)	+ 13.600,0000						+ 13.600,0000
Cloro (Cl)	+ 0,0017						+ 0,0017
Acido cloridrico (HCl)	+ 0,1955						+ 30,7950
Cloruro di vinile (VCM)	0,15 ppm						0,15 ppm
Diossine							+ 0,000016
Idrocarburi	+ 17,0000						+ 17,0000
Metalli	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti organici clorurati	+ 0,6120						+ 0,6120
TVOC da colle, sigillanti pavimento e cere				0,002 g/mq h			0,002 g/mq h + 0,3450

segue

IMPATTO	Polimerizzazione	Produzione	Posa	Uso	Manutenzione	Riciclo	TOTALE
Emissioni in acqua							
COD	+ 0,9350						+ 0,9350
BOD	+ 0,0680						+ 0,0680
Acidi come H+	+ 0,0935						+ 0,0935
Metalli	+ 0,1700						+ 0,1700
Ioni Cloruro	+ 34,0000						+ 34,0000
Composti Organici Disciolti	+ 0,8500						+ 0,8500
Particelle Solide Sospese	+ 2,0400						+ 2,0400
Petrolio	+ 0,0425						+ 0,0425
Particelle Solide Disciolte	+ 0,4250						+ 0,4250
Altri Nitrogeni	+ 0,0026						+ 0,0026
Composti Organici Clorurati	+ 0,0085						+ 0,0085
Ioni Solfato	+ 3,6550						+ 3,6550
Ioni Sodio	+ 1,9550						+ 1,9550
Rifiuti solidi							
Rifiuti industriali	+ 1,5300					+ 170,0000	+ 171,5300
Scarti minerali	+ 56,1000						+ 56,1000
Scorie e ceneri	+ 39,9500						+ 39,9500
Sostanze chimiche inerti	+ 11,9000						+ 11,9000
Sostanze chimiche regolate	+ 1,0200						+ 1,0200
Sfridi		+ 0,0000	+ 68,0000				+ 68,0000

Tavola 48: Risultati dell'inventario per lo scenario riciclo.
(Fonte: CNR-ICITE Rapporto di ricerca 8/96)

PARTE TERZA

PROPOSTA DI UN NUOVO STRUMENTO
DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Capitolo 7

LA CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE PER I PAVIMENTI IN PVC

Il Capitolo illustra il nuovo strumento di caratterizzazione dei prodotti da costruzione dal punto di vista ambientale. Questo si presenta come una Carta di Identità Ambientale, nella quale viene confrontata ogni voce di impatto effettiva del prodotto, a cui è indirizzata la carta, con valori di riferimento (legislativi o statistici). Questo nuovo strumento può essere utilizzato dai progettisti o dalle imprese per operare delle scelte progettuali più consapevoli dell'ambiente.

7.1 ATTUALI NORMATIVE DI RIFERIMENTO PER LA QUALITA' AMBIENTALE

Nel nuovo strumento di caratterizzazione ambientale, che verrà descritto nei paragrafi successivi e applicato ai pavimenti in PVC, si farà riferimento ad alcuni valori-limite fissati dalla legislazione alle emissioni in aria, ed in acqua. Questi valori sono stabiliti da decreti o da leggi che vengono analizzati di seguito.

- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (D.P.C.M.) del 28 marzo '83
Questo decreto fissa i limiti di accettabilità delle concentrazioni e i limiti massimi di esposizione relativi ad inquinanti nell'ambiente esterno.

In particolare i valori-limite di concentrazione sono riportati nelle tavole 49 e 50.

Inquinante		
<i>Biossido di zolfo</i> espresso come SO ₂	Mediana delle concentrazioni medie di 24 ore nell'arco di 1 anno	80 µg/m ³
	88° percentile delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	250 µg/m ³
<i>Biossido di azoto</i> espresso come NO ₂	Concentrazione media di 1 ora da non superare più di 1 volta al giorno	200 µg/m ³
<i>Ozono</i> espresso come O ₃	Concentrazione media di 1 ora da non raggiungere più di 1 volta al mese	200 µg/m ³
<i>Monossido di carbonio</i> espresso come CO	Concentrazione media di 8 ore	10 µg/m ³
	Concentrazione media di 1 ora	40 µg/m ³
<i>Piombo</i>	Media aritmetica delle concentrazioni medie di 64 ore rilevate in 1 anno	2 µg/m ³
<i>Fluoro</i>	Concentrazione media di 24 ore	20 µg/m ³
	Media delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate in 1 mese.	10 µg/m ³
<i>Particelle sospese</i>	Media aritmetica di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	150 µg/m ³
	95° percentile di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	300 µg/m ³

N.B.: Tutti i valori-limite riportati riguardano la concentrazione totale dell'inquinante presente nell'aria

Tavola 49: *Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e limiti massimi di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno (Standard di qualità).*
(Fonte: D.P.C.M. del 28 marzo 1983)

Precursore	Valori limite di concentrazione	Condizioni
<i>Idrocarburi totali</i> escluso il metano espressi come C	Concentrazione media di 3 ore consecutive in un periodo del giorno da specificarsi secondo le zone a cura delle autorità regionali competenti: 200 µg/m ³	Da adottarsi soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si siano verificati dei superamenti significativi dello standard dell'aria per l'ozono sopra indicato

*Tavola 50: Valori per le concentrazioni massime nell'aria di precursori di inquinanti contenenti nella Tavola n°49 da adottarsi subordinatamente alla concorrenza di determinate condizioni.
(Fonte: D.P.C.M. del 28 marzo 1983)*

Inoltre il D.P.C.M. stabilisce che le Regioni, avvalendosi delle strutture del Servizio sanitario e dei competenti organismi tecnici statali, devono controllare il rispetto dei limiti sopra elencati. Nel caso le concentrazioni superino o rischino di superare i predetti limiti, è compito delle Regioni provvedere a predisporre appositi piani di risanamento per il miglioramento progressivo della qualità dell'aria in modo da consentire il rispetto dei limiti stessi.

- Decreto del Presidente della Repubblica (D.P.R.) del 24 maggio '88, n° 203
Questo decreto detta le norme per la tutela della qualità dell'aria ai fini della protezione della salute e dell'ambiente su tutto il territorio nazionale. In particolare, su proposta del Ministro dell'Ambiente, in collaborazione con i Ministri della sanità e dell'industria del commercio e dell'artigianato, vengono fissati i valori-limite ed i valori-guida di qualità dell'aria di specifici agenti inquinanti, contenuti nei fumi degli impianti industriali. I valori sono riportati nelle tavole 51 e 52.

Inquinante	Valore limite	Periodo di riferimento
<i>Biossido di zolfo SO₂</i>	Mediana delle concentrazioni medie di 24 ore nell'arco di 1 anno: 80 µg/m ³	1° aprile - 31 marzo
<i>Idem</i>	98° percentile delle concentrazioni medie di 24 ore nell'arco di 1 anno: 250 µg/m ³	1° aprile - 31 marzo
<i>Idem</i>	Mediana delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate durante l'inverno: 130 µg/m ³	1° ottobre - 31 marzo
<i>Biossido di azoto NO₂</i>	Mediana delle concentrazioni medie di 24 ore nell'arco di 1 anno: 200 µg/m ³	1° gennaio - 31 dicembre

Tavola 51: Valori-limite di qualità dell'aria.
(Fonte: D.P.R. n° 203/88)

Inquinante	Valore guida	Periodo di riferimento
<i>Biossido di zolfo SO₂</i>	Media aritmetica delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno da 40 a 60 µg/m ³ .	1° aprile - 31 marzo
<i>Idem</i>	Valore medio delle 24 ore da 100 a 150 µg/m ³	dalle 00 alle 24 di ciascun giorno
<i>Biossido di azoto NO₂</i>	50° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno: 50 µg/m ³	1° gennaio - 31 dicembre
<i>Idem</i>	98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno: 135 µg/m ³	1° gennaio - 31 dicembre
<i>Particelle sospese</i> (misurate con il metodo dei fumi neri)	Media aritmetica delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno: da 40 a 60 µg fumo nero equivalente/m ³ .	1° aprile - 31 marzo
<i>Idem</i>	Valore medio delle 24 ore da 100 a 150 µg fumo nero equivalente/m ³	dalle 00 alle 24 di ciascun giorno

Tavola 52: Valori-guida di qualità dell'aria.
(Fonte: D.P.R. n° 203/88)

Inoltre il D.P.R. n° 203 attribuisce alla competenza delle Regioni il rilascio dell'autorizzazione per le emissioni in atmosfera provenienti da stabilimenti industriali. In aggiunta spetta sempre alle Regioni la fissazione di valori delle emissioni di impianti sulla base della migliore tecnologia disponibile e tendono conto delle linee guida fissate dallo Stato e dei relativi valori di emissione.

Questo D.P.R. contiene anche la descrizione dettagliata dei metodi di prelievo e di analisi degli inquinanti dell'aria.

- Decreto del Ministro dell'Ambiente (D.M.A.) del 12 luglio '90, n°51

Questo decreto stabilisce le linee guida per il contenimento delle emissioni degli impianti industriali esistenti e fissa i valori di emissione minimi e massimi (se si raddoppiano i valori minimi si ottengono quelli massimi). Tenendo conto del D.P.R. 24/05/1988 n° 203, il D.M.A. 1990 fissa i valori limite di emissione delle seguenti sostanze:

- sostanze ritenute cancerogene e/o tetratogene e/o mutagene, tra cui il vinile di cloruro per il quale è fissato il limite di 5 mg/m^3 ;
- sostanze di tossicità e cumulabilità praticamente elevate, ad esempio il limite delle policlorodibenzodiossine è di $0,01 \text{ mg/m}^3$;
- sostanze inorganiche che si presentano prevalentemente, tra cui il piombo ed i suoi composti per i quali si è fissato il limite di 5 mg/m^3 ;
- sostanze inorganiche che si presentano prevalentemente sotto forma di gas e vapore, ad esempio il valore di emissione degli ossidi di zolfo è di 500 mg/m^3 ;
- sostanze organiche sotto forma di gas, vapori o polveri, ad esempio il limite per l'emissione di formaldeide è fissato a 20 mg/m^3 ;
- polvere totali, i valori fissati sono di 50 mg/m^3 se il flusso è pari o superiore a $0,5 \text{ kg/h}$ e di 150 mg/m^3 se il flusso è pari o superiore a $0,1 \text{ kg/h}$ ed inferiore a $0,5 \text{ kg/h}$.

Inoltre il D.M.A 1990 dà indicazioni su cicli tecnologici relativi a specifiche tipologie di impianti, su alcune delle tecnologie disponibili relative agli impianti di abbattimento e sui metodi di campionamento, analisi e valutazione delle emissioni.

Per quanto riguarda il controllo del rispetto dei valori-limite di emissione, il D.M.A. '90 rimanda al D.P.R. n° 203 dove la competenza è delegata alle Regioni che possono fissare anche i valori di emissione più restrittivi di quelli presenti in questo decreto.

- Legge (L.) 10 maggio '76, n° 319 e relative modifiche approvate dalla Legge 24 dicembre '79, n° 650.

La suddetta legge ha per oggetto le norme per la tutela delle acque dell'inquinamento.

In particolare, in tutto il territorio nazionale viene stabilita un'unica disciplina degli scarichi, basata sulla prescrizione per gli stessi dei limiti di accettabilità previsti da questa legge.

La predisposizione dei criteri generali e delle metodologie per il rilevamento delle caratteristiche dei corpi idrici, la redazione del piano generale di risanamento delle acque sulla base di piani regionali, l'approvazione di modifiche dei limiti di accettabilità degli scarichi per adeguarli alle nuove acquisizioni scientifiche e tecnologiche, sono funzioni esercitate da un Comitato interministeriale, costituito dai ministri per i lavori pubblici, per la marina mercantile e per la sanità. Questo Comitato si avvale della collaborazione scientifica e tecnica dell'Istituto superiore di sanità per quanto concerne le questioni relative agli usi potabili dell'acqua, alla miticoltura, alla balneazione, alla protezione della salute pubblica, e dei laboratori dell'istituto di ricerca sulle acque del Consiglio nazionale delle ricerche per le altre questioni.

Di competenza delle Regioni sono:

- la redazione dei piani regionali di risanamento delle acque;
 - la direzione del sistema del controllo degli scarichi;
 - l'esecuzione delle operazioni di rilevamento delle caratteristiche dei corpi idrici, in collaborazione con il servizio idrografico italiano con gli uffici del genio civile ed avvalendosi degli uffici delle province per quanto attiene agli aspetti qualitativi.
- Valori-limite regionali alle emissioni da nuovi impianti, predisposti dall'Assessorato Ambiente della Regione Emilia-Romagna e relativi al settore delle trasformazioni di gomma e di materie plastiche.

Di particolare interesse per il presente studio, sono i limiti fissati alle emissioni provenienti alla calandratura di cloruro di polivinile per la produzione di fogli e foglia.

I gas polverosi provenienti da questa fase produttiva devono essere captati e convogliati ad un impianto di filtrazione a maniche; le emissioni devono rispettare i seguenti limiti:

INQUINANTE	CONCENTRAZIONE MASSIMA mg/mc
Materiale particellare	10
Cloruro di vinile	5
Ftalati (espressi come acido ftalico)	5

Per il controllo del rispetto dei limiti di emissione del materiale particellare e del vinilcloruro devono essere usati i metodi U.NI.CHIM.; invece per gli ftalati, mancando uno specifico metodo U.NI.CHIM., si devono utilizzare le metodologie individuate dal Responsabile del settore chimico-ambientale del Presidio Multizonale di Prevenzione competente per il territorio.

7.2 LA CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE

7.2.1 LA STRUTTURA DELLA CARTA

Le analisi fin qui svolte hanno portato alla definizione di una carta di identità ambientale intesa come uno strumento che consenta di caratterizzare i prodotti da costruzione dal punto di vista ambientale in modo più pragmatico di quanto non sia possibile con i metodi esistenti. In particolare, questa carta di identità è ipotizzata come un documento che potrebbero gestire, in un futuro prossimo, gli organismi di controllo e di certificazione quando si troveranno nelle condizioni di dover definire la qualità ambientale dei prodotti per fornire ai loro utilizzatori (progettisti ed imprese) uno strumento di scelta.

Infatti la carta di identità è strutturata in modo non solo da raccogliere le informazioni sugli impatti ambientali, ma anche di permettere il confronto degli impatti in questione con dei valori di riferimento.

I valori di riferimento inseriti nella carta di identità sono di due tipi:

- valori presenti nella legislazione: avendo verificato la difficoltà di utilizzare come riferimento gli effetti ambientali proposti dalle metodologie studiate, si è considerato che in ogni caso le aziende di produzione, così come gli impianti di incenerimento, sono tenute a rispettare i valori-limite imposti dalla legislazione.

Si è quindi optato per assumere i valori presenti in legislazione per gli impatti per i quali essi erano disponibili, ad esempio emissioni di polveri, di CO₂, di SO_x, di NO_x, di HCl, etc.;

- valori statistici: tali valori sono stati desunti dall'inventario illustrato nel Capitolo precedente.

La carta di identità, studiata in particolare per i pavimenti in PVC, elenca, per ogni fase di vita del pavimento, i principali impatti: i consumi energetici e di materie prime, le emissioni in acqua e in aria e i rifiuti solidi.

Per ciascun impatto la carta prevede che sia indicato il dato quantitativo del prodotto specifico a cui la carta si riferisce.

Nel caso in cui per l'impatto si debba ricorrere al dato statistico, come nel caso di consumi energetici e delle materie prime, accanto alle voci d'impatto il compilatore della carta dovrà indicare il range in cui il prodotto si inserisce facendo riferimento all'unità funzionale.

Ad esempio per i consumi energetici, il produttore dovrà dichiarare se, per l'unità funzionale del prodotto in questione, consuma meno di 20 MJ, tra 20 e 40 MJ, oppure più di 40 MJ, barrando la relativa casella.

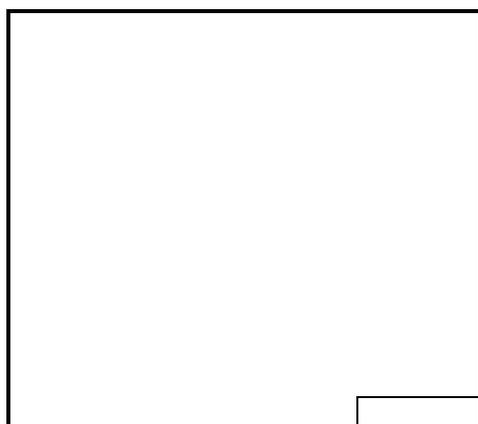
Tale dato fornirà un'indicazione, per confronto, della maggiore o minore distanza dai valori medi della produzione europea (criterio simile a quello adottato per gli Ecolabel).

Nel caso in cui per l'impatto si disponga di valori di riferimento legislativi, il produttore (o l'ente certificatore) dovrà indicare e/o certificare il dato quantitativo riferito all'unità di misura presente nella legge.

Ad esempio, nel caso delle emissioni di ossidi di zolfo occorrerà riportare la concentrazione effettiva al camino (in $\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$) durante la fase di produzione. Ciò consentirà di relazionare il dato della produzione in questione con i limiti di legge e di valutarne indirettamente l'impatto.

Per maggiori dettagli si veda la tavola 53 che illustra la struttura della Carta di Identità ambientale per i pavimenti in PVC.

**CARTA DI IDENTITA' AMBIENTALE
PER I PAVIMENTI IN PVC**



Rilascio:
Organismo Certificatore:
Categoria del prodotto:
Denominazione commerciale:
Beneficiario del certificato:
Stabilimento:

1. PRODUZIONE DEL POLIMERO				
IMPATTO	VALORI DI IMPATTO			VALORI DI RIFERIMENTO
Consumi Energetici (MJ)	< 20 MJ	20-40 MJ	>40 MJ	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Materie Prime (g)				
Petrolio	< 300 gr	300-400 gr	> 400 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Gas Naturale	< 200 gr	200-300 gr	> 300 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Minerale ferroso	< 0,30 gr	0,30-0,40 gr	> 0,40 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Pietra calcare	< 1 gr	1-2 gr	> 2 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Acqua	<1500 gr	1500-1800 gr	> 1800 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Bauxite	< 0,15 gr	0,15-0,20 gr	> 0,20 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Cloruro di sodio	< 500 gr	500-700 gr	> 700 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Sabbia	< 0,5 gr	0,50-2 gr	> 2 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Emissioni in aria				
Polveri				50 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Ossido di carbonio (CO)				10-40 mg/m ³ h (DPCM '83) (2)
Anidride carbonica (CO ₂)	<1500 gr	1500-2000 gr	> 2000 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Ossidi di zolfo (SO _x)				500 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Ossidi di azoto (NO _x)				500 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Cloro (Cl)				5 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Acido cloridrico (HCl)				30 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Cloruro di vinile (VCM)				5 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Idrocarburi	<16 gr	16-18 gr	>18 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Metalli (Piombo)				5 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Composti organici clorurati	<0,5 gr	0,5-0,8 gr	>0,8 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Emissioni in acqua				
COD				160 mg/l (L. 319/79) (2)
BOD				40 mg/l (L. 319/79) (2)
Acidi come H ⁺	<0,08 gr	0,08-0,10 gr	>0,10 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Metalli				3 mg/l (L. 319/79) (2)
Ioni cloruro				1200 mg/l (L. 319/79) (2)
Composti organici disciolti	<0,7 gr	0,7-0,9 gr	>0,9 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Particelle solide sospese				80 mg/l (L. 319/79) (2)
Petrolio	<0,03 gr	0,03-0,06 gr	>0,06 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Particelle solide disciolte	<0,3 gr	0,3-0,6 gr	>0,6 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Altri nitrogeni	<0,001 gr	0,001-0,004 gr	>0,004 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Composti organici clorurati				1 mg/l (L. 319/79) (2)
Ioni solfato				1000 mg/l (L. 319/79) (2)
Ioni sodio	<1,8 gr	1,8-2,1 gr	>2,1 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Rifiuti solidi				
Rifiuti industriali	<1,4 gr	1,4-1,7 gr	>1,7 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Scarti minerali	<55 gr	55-58 gr	>58 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Scorie e ceneri	<38 gr	38-41 gr	>41 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Sostanze chimiche inerti	<10 gr	10-13 gr	>13 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Sostanze chimiche regolate	<0,8 gr	0,8-2 gr	>2 gr	Dato statistico (1): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.

2. PRODUZIONE DEI TELI				
IMPATTO	VALORI DI IMPATTO			VALORI DI RIFERIMENTO
Consumi Energetici (MJ)	< 10 MJ	10-30 MJ	>30 MJ	Dato statistico (3): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Materie Prime (g)				
Cariche	<1500 gr	1500-1800 gr	> 1800 gr	Dato statistico (3): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Plastificanti	<900 gr	900-1000 gr	> 1000 gr	Dato statistico (3): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Pigmenti e altro	<50 gr	50-100 gr	> 100 gr	Dato statistico (3): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.
Emissioni in aria				
Polveri				10 mg/m ³ h (L.R. E.R. '92) (2)
Ossido di carbonio (CO)				10 mg/m ³ h (L.R. E.R. '92) (2)
Anidride carbonica (CO ₂)				Dato non disponibile
Ossidi di zolfo (SO _x)				500 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Ossidi di azoto (NO _x)				500 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Acido cloridrico (HCl)				30 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Cloruro di vinile (VCM)				5 mg/m ³ h (L.R. E.R. '92) (2)
Rifiuti solidi				
Sfridi	=0 gr	0-1000 gr	> 1000 gr	Dato statistico (3): l'azienda deve produrre un documento di autocertificazione.

3. POSA IN OPERA E UTILIZZO				
IMPATTO	VALORI DI IMPATTO			VALORI DI RIFERIMENTO
Materie Prime (g)				
Colle e adesivi	<250 gr	250-350 gr	> 350 gr	Dato statistico (3): l'ente certificatore deve calcolare i consumi con riferimento alle modalità di posa dichiarate dall'azienda (scenari).
Cera (50gr/mq per 15 volte)	<700 gr	700-800 gr	> 800 gr	Dato statistico (3): l'ente certificatore deve calcolare i consumi con riferimento alle modalità di manutenzione dichiarate dal manutentore (scenari).
Emissioni in aria (VOC) da colle, sigillanti e pavimenti				
Fenolo				10 p.p.m. limite occupazionale (4)
2-Etili-1-Esanolo				1 p.p.m. limite occupazionale (4)
1-Butanolo				100 p.p.m. limite occupazionale (4)
Toluene				100 p.p.m. limite occupazionale (4)
1,2,4-Trimetilbenzene				100 p.p.m. limite occupazionale (4)
Etilbenzene				1000 p.p.m. limite occupazionale (4)
o.m.p.-Xileni				1000 p.p.m. limite occupazionale (4)
Decano				100 p.p.m. limite occupazionale (4)
Formaldeide				0,1 p.p.m. Circ. Min. San. n° 5/'83 (4)
Emissioni in acqua	Dato non disponibile			
Rifiuti solidi	Dato non disponibile			

4. DISMISSIONE				
SCENARIO 1: CONFINAMENTO IN DISCARICA				
<i>IMPATTO</i>	<i>VALORI DI IMPATTO</i>			<i>VALORI DI RIFERIMENTO</i>
Consumo di Territorio (cmc)	<2400 cmc	2400-2600 cmc	>2600 cmc	Dato statistico (3): l'ente certificatore esegue i relativi calcoli.
SCENARIO 2: INCENERIMENTO				
Emissioni in aria				
Polveri				50 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Diossine				0,01 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Acido cloridrico (HCl)				50 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Recupero di energia (MJ)	< 36 MJ	36-39 MJ	>39 MJ	Dato statistico (3): l'ente certificatore deve eseguire i calcoli necessari.
SCENARIO 3: RICICLO				
Consumi energetici (MJ)	<4 MJ	4-6 MJ	>6 MJ	Dato statistico (3): l'ente certificatore esegue dei calcoli sulla base della composizione del pavimento.
Emissioni in aria				
Polveri				30 mg/m ³ h (DMA '90) (2)
Rifiuti solidi				
Rifiuti industriali	<160 gr	160-180 gr	>180 gr	Dato statistico (3): l'ente certificatore esegue dei calcoli sulla base della composizione del pavimento.

Note:

- (1) I valori indicati devono essere riferiti alla produzione di 0,850 kg di polimero
- (2) Il valore riportato deve essere registrato secondo le modalità previste dalla legislazione
- (3) Il dato deve essere riferito all'unità funzionale di 1 mq di pavimento
- (4) L'ente certificatore deve eseguire le necessarie misurazioni

CONCLUSIONI

Lo strumento di caratterizzazione ambientale elaborato attraverso questa tesi rappresenta, per quanto a conoscenza degli autori, una proposta innovativa nel settore della qualificazione ambientale dei prodotti.

Si tratta di un primo tentativo, sicuramente implementabile, che si propone di risolvere alcuni dei problemi lasciati aperti dagli attuali metodi di analisi ambientale; nella stessa direzione si stanno muovendo alcuni enti di ricerca europei ed in particolare alcuni istituti di certificazione della qualità dei prodotti (CSTB - Francia, CSTC Belgio, VTT - Finlandia, NBRI - Norvegia) che hanno individuato la necessità di un documento di qualificazione ambientale per famiglie di prodotti che integri gli attuali strumenti di qualificazione (idoneità all'uso, rispetto delle normative nazionali prestazionali, certificazione europea, etc.) con considerazioni sugli impatti ambientali nell'intero ciclo di vita.

Infatti questa è la parte di analisi ambientale meno coperta dagli studi fin qui sviluppati in ambito Environmental Life Cycle che, come si è visto, affronta problemi, forse più teorici e politici, di confronto tra prodotti alternativi, mentre sul piano pratico il settore della produzione ha maggiormente bisogno di qualificare i singoli prodotti.

Ovviamente lo strumento proposto presenta dei limiti.

In particolare si segnala che esso non opera una valutazione canonica attraverso il riferimento a classi di impatto, al momento non disponibili, bensì

una valutazione indiretta attraverso il confronto dei dati oggettivi di impatto specifici di un prodotto, con alcuni valori di riferimento.

Un altro limite della carta consiste nel fatto che i valori di riferimento utilizzati sono di due tipologie tra loro differenti: valori legislativi e valori di inventario statistico. E' evidente che la situazione ottimale sarebbe quella di poter disporre di riferimenti univoci e consolidati; tale evenienza è legata allo sviluppo sia della ricerca, sia delle attività di regolamentazione e legislazione.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV.,

(1995), *La gestione dei rifiuti di costruzione e demolizione*, Relazione alla giornata di studi tenuta a Milano, 1 giugno 1995, Istituto per l'Ambiente, Milano

AA.VV.,

(1994), <<Il PVC tra insinuazioni e pregiudizi>>, *Serramenti*, n° 8, pp. 22-32

ANFOR,

(1992), *Maque NF-Environment. Reglement Technique Applicable aux Peintures, Vernis et Produit Connexes*, Min. de l'Environnement, Min. de l'Industrie et du Commerce Exterieur, Min. de l'Economie et des finances, Paris

APME,

(1993), *Eco-profiles of the European polymer industry: Report 2: Olefin Feedstock sources*, APME (Association of Plastic Manufacturers in Europe), Brussels

APME,

(1994), *Eco-profiles of the European polymer industry: Report 5: Co-Product Allocation in Chlorine Plants*, APME (Association of Plastic Manufacturers in Europe), Brussels

APME,

(1994), *Eco-profiles of the European polymer industry: Report 6: Polyvinyl Chloride*, APME (Association of Plastic Manufacturers in Europe), Brussels

Arbeitsgemeinschaft,

(1994), *Iniziativa di riciclaggio globale sull'esempio del PVC: i metodi*, Arbeitsgemeinschaft-PVC Und Umwelt e.V.

Area Science Park,

(1993), *Impiego ecologico del PVC*, Edizioni Studio Tesi

Assoplast,

(1988), *Scopriamo insieme il PVC*, Edizioni Tecniche Assoplast

Baglioni A., Piardi S.,

(1990), *Costruzioni e salute*, Franco Angeli, Milano

Bartolomeo Matteo,

(1993), <<L'applicazione dello schema comunitario di gestione e audit ambientale>>, *Dossier ambiente*, n° 22, lug., 1993, pp. 8-11

Bellicini L., Ratti A.,

(1995), << L'anno che sta arrivando >>, *Ville Giardini*, n° 229, gennaio, 1995, pp. 43-51

Bianchi Duccio,

(1991), *Ecolabels: i marchi di qualità ambientale e l'analisi del ciclo di vita dei prodotti*, Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano

Bianchi Duccio,

(1994), *Analisi dei sistemi di smaltimento dei rifiuti*, Relazione al corso COMETT "Analisi del ciclo di vita dei prodotti ed ecobilanci aziendali", Milano, 7-8-9 giu. 1994, Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano

Bianchi Duccio,

(1994), *Introduzione alla metodologia di Life - Cycle, Assessment*, Relazione al corso COMETT "Analisi del ciclo di vita dei prodotti ed ecobilanci aziendali", Milano 19/20 maggio 1994, Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano

Bresso Mercedes,

(1993), <<L'audit ambientale e Ecolabel: nuovi strumenti di una politica ambientale preventiva e integrata>>, *Dossier Ambiente*, n° 22, lug.,pp. 5-6

Capria A., et alii

(1993), *L'Etichettatura Ecologica: esperienze e prospettive*, Istituto per l' Ambiente, Milano

Capria A., De Cesaris A.,

(1994), <<Una nuova strategia per l'ambiente e lo sviluppo>>, *Unificazione e Certificazione*, n° 10, nov./dic., 1994, pp. 8-10

Carruba Corrado,

(1993), <<L'Ecolabel in breve>>, *Dossier Ambiente*, n° 22, lug.,p. 57

Cerruti Claudio,

(1995), *La valutazione di qualità in edilizia*, dispensa n° 307, A.A. 1995-'96, Dipartimento di Disegno Industriale e Tecnologia dell'Architettura, Facoltà di Architettura, Politecnico di Milano

Cerruti C., Varone G.,

(1994), <<Qualità e controllo in edilizia>>, *De qualitate*, settembre, pp. 57-66

Chiapponi Medardo,

(1989), *Ambiente: gestione e strategia*, Feltrinelli, Milano

Consiglio CEE del 23 Marzo 1992,

(1992), *Regolamento (CEE) n° 880/92 concernente un sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica*, Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, n° L99, 11/04/1992

Dessy P., Morfini L., Nironi L.,

(1996), <<Dalla fabbrica alla discarica>>, *Modulo*, n° 223, lug./ago., 1996

Dessy P., Morfini L., Nironi L.,

(1996), <<Impatto ambientale nei prodotti da costruzione nel loro ciclo di vita. Metodi per la valutazione>>, *Edilizia*, ottobre, 1996

ENEA, Ministero dell'Ambiente

(1993), *Study for the Attribution of a European Ecolabel for Ceramic Floor and Wall Tiles*, Ministero dell'Ambiente, Roma

Espositi Walter,

(1994), << Una difficile applicazione del Mercato Unico: la Direttiva "Prodotti da costruzione" >>, *Costruire in Laterizio*, n° 37, 1994, pp. 60-67

European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man",

(1995), *Evaluation of VOC Emissions from Building Procts Solid Flooring Materials (Draft Proposal)*

EVC,

(1991), *Riciclo del PVC*, EVC (European Vinyls Corporation), dicembre, 1991

EVC,

(1996), *Centro Ricerca e Sviluppo PVC*, EVC (European Vinyls Corporation), Porto Marghera, Venezia

Fossdal S.,

(1995), *The production of PVC*, Biggsforsk, Oslo, ottobre

Gamboni M., Scialdoni R.,

(1994), << Analisi del ciclo di vita in cerca d'identità >>, *L' Impresa Ambiente*, n° 1, gennaio, 1994, pp. 20-23

Gabriotti Manuela,

(1996), <<Assegnazione del marchio di qualità ecologica>>, *Ambiente*, n° 1, gennaio, 1996 pp. 35-41

Istituto di Ricerche AMBIENTE ITALIA,

(1991), *Diffusione e caratteristiche degli Ecolabels*, Ambiente Italia, Milano

Istituto di Ricerche AMBIENTE ITALIA,

(1993), *Ecobilanci e Analisi del ciclo di vita di prodotti e di processi produttivi*, Ambiente Italia, Milano

Kirchner S., Karpe P., Cochet C.,

(1993), *Characterization of Volatile Organic Compounds Emission from Floor Coverings*, Proceedings of << Indoor Air '93 >>, vol. 2, p.455

Marzocchi Alberto,

(1993), *Il regolamento CEE 880/92 sulla certificazione ecologica dei prodotti*, Relazione al convegno << Bilanci e certificazioni ambientali dei prodotti e delle imprese >>, Milano, 29 settembre 1993

Marzocchi Alberto,

(1994), << Cronache Italiane di un marchio annunciato >>, *L' Impresa Ambiente*, n° 1, gennaio, 1994, pp. 8-13

Morfini Luisa,

(1992), << Dolce casa inquinata: indoor air quality >>, *Modulo*, n° 185, ottobre, 1992, pp. 1052-1058

Morfini Luisa,

(1992), << Col piede giusto: pavimentazioni industriali; rivestimenti resinosi >>, *Modulo*, n° 187, dicembre-gennaio, 1992-'93, pp. 1312-1318

Morfini Luisa,

(1993), << Un malessere diffuso: case a rischio >>, *Modulo*, n° 188, febbraio, 1993, pp. 46-47

Morfini Luisa,

(1993), << Nascita, ascesa e morte di un prodotto >>, *Modulo*, n° 190, aprile, 1993, pp. 300-304

Morfini Luisa,

(1993), << Case riciclate: recupero e riciclaggio dei prodotti edilizi >>, *Modulo*, n° 195, ottobre, 1993, pp. 934-938

Morfini Luisa, Nironi Laura,

(1995), << Riduci, Riutilizza, Recupera >>, *Modulo*, n° 211, maggio, 1995, pp. 388-396

Nironi Laura,

(1993/'94), Tesi di Laurea, *L'analisi del ciclo di vita e le tecnologie edilizie*, relatore Guido Nardi, correlatori Claudio Cerruti, Luisa Morfini, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

Nordic Council of Ministers,

(1992), *Products Life Cycle Assessment*, Nordic Countries Ministers of Environment, Stockholm

Norsa A., et alii,

(1994), << Costruire in Europa >>, *Costruire in laterizio*, n° 37, 1994, pp. 15-23

Oberti Ilaria,

(1994) << Etichettatura ecologica >>, *Ville Giardini*, n° 297, novembre, 1994, pp. 68-70

Paiella Maria Luisa,

(1992/'93), Tesi di Laurea, *La valutazione dei prodotti da costruzione attraverso il sistema di etichettatura ecologica*, relatore Silvia Piardi, correlatore Andrea Ratti, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura

Passerini Paride,

(1992), << L'introduzione del sistema qualità nella produzione dei materiali da costruzione >>, *Costruire in laterizio*, n° 29, settembre/ottobre, 1992, pp. 390-393

Piardi S., Carena P., Oberti I., Ratti A.,

(1996), *Costruire edifici sani*, Maggioli editore, Rimini

Potting J., Blok K.,

(1994), *Life-cycle assessment for four types of floor covering*, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, The Netherlands

PVC Information Council,

(1994), *A Communications manual for PVC*, PVC Information Council, Brussels

Rigamonti Ennio,

(1996), *Il riciclo dei materiali in edilizia*, Maggioli editore, Rimini

Rubbi A., Scipioni A.,

(1995), << La comunicazione ambientale per l'impresa e dall' impresa: Eco-label, Eco-audit e politica ambientale >>, *Ambiente Risorse Salute*, luglio/agosto, 1995, pp. 45-48

Setac,

(1993), *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"*, Setac (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)

Severini Febo, Caccia Maria G.,

(1994), *Recupero postconsumo e riciclo delle materie plastiche*, Edizione IVR

Tirkkonen T., Matitmen M.L., Saarela K.,

(1993), *Volatile Organic Compound (VOC) Emission from some Building and Furnishing Materials*, Proceedings of << Indoor Air '93 >>, vol. 2, P.477

Von Berger J.,

(1987), *Plastica che fare: aspetti tecnologici, normativi e ambientali dello smaltimento dei rifiuti plastici*, Tipolitotecnica

- Materiale divulgativo-commerciale fornito da **Solvay, EVC, Assoplast**
- Materiale fornito da **CNR-ICITE**
- Materiale fornito **dal Dipartimento di Programmazione Progettazione e Produzione Edilizia (DPPPE) della Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano**

Allegato

QUADRO NORMATIVO SUI PAVIMENTI IN PVC

Per completezza di informazione si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle principali norme nazionali oggi utilizzate per la qualificazione e la caratterizzazione dei pavimenti in PVC.

NORME DI CARATTERIZZAZIONE

Norme di carattere generale sulle materie plastiche.

- | | |
|----------------|--|
| UNI ISO 1043/1 | Materie plastiche. Simboli. Polimeri di base e loro caratteristiche. |
| UNI 7350 | Resine di policloruro di vinile. Sistema di classificazione. |
-

Norme sulla descrizione dei metodi per la determinazione di particolari caratteristiche delle materie plastiche.

- | | |
|---------------|--|
| UNI ISO 175 | Materie plastiche. Determinazione dell'effetto dei prodotti chimici liquidi, inclusa l'acqua. |
| UNI ISO 182/1 | Materie plastiche. Determinazione della tendenza delle composizioni a base di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile a sviluppare acido cloridrico ed eventualmente altri prodotti acidi a temperature elevate. Metodo al rosso congo. |

UNI ISO 182/2	Materie plastiche. Determinazione della tendenza delle composizioni a base di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile a sviluppare acido cloridrico ed eventualmente altri prodotti acidi a temperature elevate. Metodo del pH.
UNI ISO 182/3	Materie plastiche. Determinazione della tendenza delle composizioni a base di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile a sviluppare acido cloridrico ed eventualmente altri prodotti acidi a temperature elevate. Metodo conduttometrico.
UNI ISO 182/4	Materie plastiche. Determinazione della tendenza delle composizioni a base di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile a sviluppare acido cloridrico ed eventualmente altri prodotti acidi a temperature elevate. Metodo potenziometrico.
UNI 4582	Materie plastiche. Determinazione delle variazioni di colore e delle variazioni di proprietà dopo l'esposizione a luce naturale sotto vetro, agli agenti atmosferici o alla luce artificiale.
UNI ISO 62	Materie plastiche. Determinazione dell'assorbimento d'acqua.
UNI ISO 179	Materie plastiche. Determinazione della resistenza all'urto Charpy.

Norme sulle prove delle materie plastiche.

UNI 4279	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della caratteristiche alla compressione.
UNI 4288	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della resistività elettrica superficiale e volumetrica.
UNI 4289	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della costante dielettrica relativa e del fattore di dissipazione.
UNI 5635	Prove sulle materie plastiche. Determinazione del modulo apparente di elasticità tangenziale in funzione della temperatura.

UNI 5636	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della perdita di peso per volatilità con il metodo del carbone attivo.
UNI 5637	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della stabilità termica del policloruro di vinile, dei suoi copolimeri e loro mescolanze con il metodo della variazione di colore.
UNI 5638	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della migrazione dei plastificanti.
UNI 5640	Prove sulle materie plastiche. Determinazione dell'indice di fluidità dei materiali termoplastici con plastometro ad estrusione.
UNI 5641	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della temperatura di inflessione sotto carico.
UNI 5642	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della temperatura di rammollimento Vicat dei materiali termoplastici.
UNI 5812	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della temperatura di fragilità per urto.
UNI 6061	Prove sulle materie plastiche. Determinazione del coefficiente di dilatazione termica lineare.
UNI 6064	Prove sulle materie plastiche. Determinazione dell'essudazione dei coloranti.
UNI 7352	Prove sulle materie plastiche. Analisi granulometrica mediante stacciatura in corrente d'acqua delle resine di policloruro di vinile.
UNI 7353	Prove sulle materie plastiche. Determinazione del pH dell'estratto acquoso delle resine di policloruro di vinile.
UNI 7354	Prove sulle materie plastiche. Determinazione delle sostanze volatili (compresa l'acqua) nelle resine di policloruro di vinile.
UNI 8653	Prove sulle materie plastiche. Determinazione della resistenza a trazione per urto.

Norme specifiche sul PVC.

UNI 8640	Materie plastiche. Resine di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile per usi generali. Determinazione dell'assorbimento di plastificante a temperatura ambiente.
UNI 8642	Materie plastiche. Resine di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile. Analisi granulometrica su staccio in corrente d'aria.
UNI 8643	Materie plastiche. Resine di policloruro di vinile per usi generali. Determinazione dell'assorbimento di plastificante a caldo.
UNI 5818	Prove sulle materie plastiche. Determinazione del cloruro di vinile.
UNI ISO 2898/1	Materie plastiche. Composizioni plastificate di omopolimeri e copolimeri del cloruro di vinile (PVC-P). Designazione.

Norme sulle pavimentazioni.

UNI 7998	Edilizia. Pavimentazioni. Tecnologia.
UNI 7999	Edilizia. Pavimentazioni. Analisi dei requisiti.
UNI 8380	Edilizia. Strati del supporto di pavimentazione. Analisi dei requisiti.
UNI 8397	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Terminologia.
UNI 8298	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione dell'adesione del rivestimento al supporto.
UNI 8298/6	Edilizia. Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza all'invecchiamento termico in aria.
UNI 8298/12	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione dello spessore.
UNI 8298/13	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Determinazione della resistenza meccanica dei ripristini.

UNI 8298/15	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Preparazione dei provini per la determinazione della massa volumica apparente.
UNI 8636	Rivestimenti resinosi per pavimentazioni. Significatività delle caratteristiche.
UNI 8381	Edilizia. Strati di supporto di pavimentazione. Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione.
UNI EN 424	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione dell'effetto del movimento simulato della gamba di un mobile.
UNI EN 425	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione dell'azione di una sedia con ruote.
UNI EN 426	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della larghezza, lunghezza, rettilineità e planarietà dei prodotti in rotoli.
UNI EN 427	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della lunghezza dei lati, dell'ortogonalità e della rettilineità delle piastrelle.
UNI EN 428	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione dello spessore totale.
UNI EN 429	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione dello spessore degli strati.
UNI EN 430	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della massa areica.
UNI EN 431	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della forza di adesione tra gli strati.
UNI EN 432	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della forza di lacerazione.
UNI EN 665	Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della essudazione dei plastificanti.

UNI EN 666 Rivestimenti resilienti per pavimentazioni. Determinazione della gelatinizzazione.