

# **PARTE I**

## **LE PROBLEMATICHE AMBIENTALI CONNESSE ALLA CORRETTA GESTIONE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI E DEI RIFIUTI DI IMBALLAGGIO**

## **I Rifiuti: Aspetti generali**

Le problematiche connesse alla produzione di rifiuti hanno assunto negli ultimi decenni proporzioni sempre maggiori in relazione al miglioramento delle condizioni economiche, al veloce progredire dello sviluppo industriale, all'incremento della popolazione e delle aree urbane.

La produzione dei rifiuti è infatti progressivamente aumentata quale conseguenza del progresso economico e dell'aumento dei consumi.

La diversificazione dei processi produttivi ha inoltre generato la moltiplicazione della tipologia dei rifiuti con effetti sempre più nocivi per l'ambiente.

La produzione dei rifiuti è un importante indice dello stato di benessere di un Paese in quanto rappresenta lo stadio finale del processo dei consumi fornendo una stima delle modalità e delle proporzioni secondo le quali si utilizzano le risorse disponibili. Nelle società moderne tali processi risultano degenerativi producendo pressioni sulle componenti ambientali e sanitarie.

L'immissione incontrollata di rifiuti nell'ambiente genera effetti indesiderati, di intensità variabile in funzione della carica inquinante, su ciascuna componente ambientale:

- acque, a causa di scarichi diretti o del percolato delle discariche;
- aria, sia a causa di emissioni di metano dalle discariche provenienti da processi degradativi della sostanza organica contenuta nei rifiuti sia per le emissioni di sostanze inquinanti da impianti di incenerimento;
- suolo, a causa di scarichi accidentali o discariche incontrollate con conseguente generazione di siti contaminati a scapito dell'ambiente e della collettività.

A valle di una eccessiva produzione di rifiuti si pone il problema della loro gestione e del loro smaltimento in forme eco-compatibili che, date le molteplici componenti in gioco: sociali, economiche, ambientali si presenta decisamente complesso.

La gestione dei rifiuti deve essere inserita nell'obiettivo più generale dell'uso razionale e sostenibile delle risorse. La scelta delle priorità in questo settore ha conseguenze dirette per l'economia e per l'ambiente ed è importante non solo per le politiche ambientali ma anche per la tecnologia e la politica economica e dei consumi.

Una corretta politica di gestione dei rifiuti deve essere una politica globale, attenta a tutto il ciclo del prodotto che a fine vita diventa rifiuto; importante è agire sin dalla fase di

progettazione del bene e successivamente nelle varie fasi della sua vita: produzione, distribuzione e consumo.

Si evince da un lato la necessità di intervenire con azioni preventive atte a diminuire la produzione dei rifiuti alla fonte, incoraggiare il recupero nelle sue tre forme di riutilizzo, riciclaggio e recupero energetico, in particolare incentivando le raccolte selettive; dall'altro risulta indispensabile garantire la sostenibilità sociale ed ambientale delle forme di smaltimento adottate, attraverso la creazione di una rete di impianti di trattamento e di smaltimento che facciano ricorso alla migliore tecnologia disponibile e che comportino possibili forme di recupero (impianti di trattamento con produzione di CDR e compost ed impianti di combustione con recupero energetico).

Le linee programmatiche di intervento tracciate a livello comunitario e nazionale (Decreto legislativo 22/97) hanno introdotto un ordine di priorità per le diverse fasi di vita dei rifiuti, che in estrema sintesi si può così articolare in ordine decrescente:

- riduzione della produzione e della pericolosità;
- riutilizzo e riciclaggio;
- recupero, nelle sue diverse forme (materia, energia);
- smaltimento in condizioni di sicurezza.

Tra gli strumenti di attuazione delle politiche di gestione delineate sono da indicare, oltre agli strumenti normativi, quelli economici quali misure fiscali, incentivi e disincentivi finanziari, ecotasse, schemi di deposito rimborsabili; accordi negoziali tra pubbliche autorità e operatori economici; strumenti di gestione quali piani di gestione dei rifiuti, monitoraggi accurati circa l'applicazione delle norme.

E' comunque indispensabile una corretta gestione dell'informazione ambientale che conduca alla conoscenza approfondita del contesto nel quale si opera e delle reali dimensioni del problema.

### **Gli indicatori relativi ai rifiuti urbani**

La finalità di una corretta conoscenza in materia di produzione e gestione dei rifiuti, è fornire informazioni nelle forme utili ai diversi utilizzatori: organismi centrali e periferici di governo del sistema, operatori economici, pubblico nel suo insieme. In particolare, per i primi, le informazioni dovranno fornire l'indispensabile supporto per la definizione degli obiettivi, secondo i criteri di priorità sopra evidenziati, e della successiva verifica di conseguimento.

I dati devono in particolare essere espressivi degli aspetti del fenomeno che si intende descrivere e capaci di rappresentare, in una realtà complessa ed articolata, aspetti e fatti rilevanti per le decisioni da prendere.

I dati e le informazioni devono essere quantitativamente e qualitativamente validi sul piano tecnico-scientifico ed efficaci sul piano operativo. Un indispensabile presupposto per tali requisiti è costituito da una sempre migliore conoscenza dei fenomeni che governano le variazioni indotte dalle azioni di pressione antropica, ma anche naturale, sui livelli di qualità delle componenti ecosistemiche.

Le modalità di raccolta dei dati devono essere tali da renderli oggettivamente confrontabili, sia per tenere conto della molteplicità dei soggetti responsabili di tale attività, sia in relazione alle diverse tipologie di utenza del sistema conoscitivo.

Le informazioni e la loro organizzazione devono avere un chiaro orientamento verso la conoscenza. Ciò significa che il sistema non si dovrà limitare ad organizzare i dati, ma dovrà considerare il potenziale di indicatività e di conoscenza che veicolano e il contributo che possono dare alla costituzione, al mantenimento e allo sviluppo della conoscenza stessa.

Un carattere che manifesta questo potenziale è la espressività del dato, la sua capacità di rappresentare realtà complesse ed articolate, quale è la realtà ambientale.

Questa considerazione giustifica la scelta di preferire sistemi di rilevazione basati su indicatori rispetto a quelli basati su dati analitici, di preferire dati capaci di esprimere una condizione generale del sistema rispetto a dati che ne esprimono solo una tra le innumerevoli variabili.

In materia di gestione dei rifiuti, ai fini di una rappresentazione reale del settore, l'OECD, l'EEA e l'EUROSTAT, utilizzano specifici indicatori in funzione del fenomeno che si intende rappresentare: produzione dei rifiuti, gestione dei rifiuti, recupero dei rifiuti, impatto ambientale degli impianti di smaltimento.

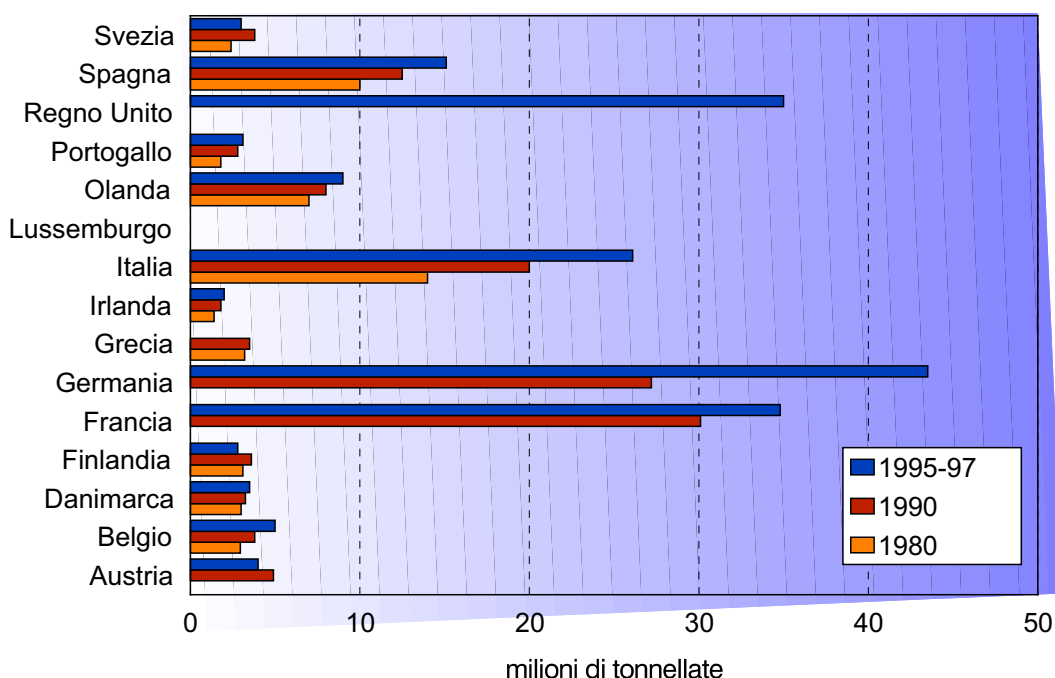
## La Produzione di Rifiuti Urbani in Europa

I rifiuti urbani sono la categoria di rifiuti per i quali maggiore è l'affidabilità dei dati disponibili e nonostante ciò permangono considerevoli carenze che impediscono di delineare un quadro generale, seppur approssimativo, delle tendenze della produzione europea. Una delle difficoltà principali nella comparazione dei dati è data dalla definizione stessa di *municipal waste*, non omogenea negli stati membri, e legata tra l'altro ai diversi sistemi di raccolta adottati.

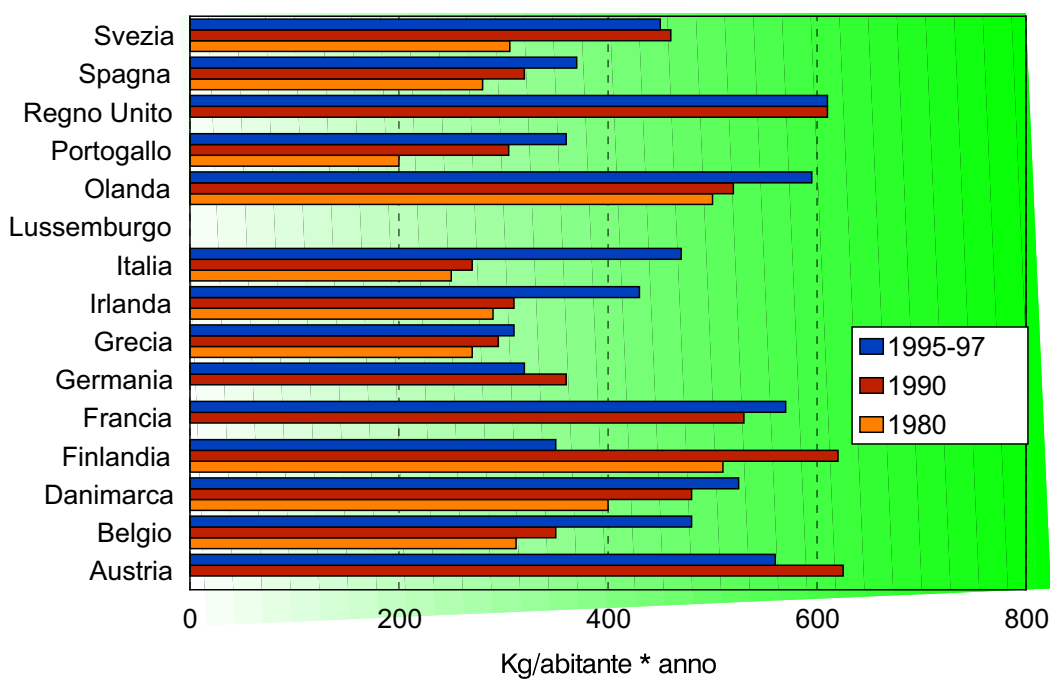
Lo sforzo comunque è quello di armonizzare la raccolta delle informazioni; in questo senso si muovono enti quali EUROSTAT, EEA, ETC/W (Centro Tematico Europeo sui Rifiuti), che mirano ad ottenere stime attendibili in materia di gestione dei rifiuti (produzione, trattamento, recupero) attraverso l'uso di terminologie comuni, l'elaborazione di sistemi armonizzati di raccolta dati, l'incentivazione a realizzare studi in materia.

Nel seguito si riportano le statistiche disponibili ricavate dal secondo rapporto sullo stato dell'ambiente in Europa (Europe's Environment: The second Assessment EEA 1998), ed integrate con i dati forniti da EUROSTAT relativi al 1996-1997.

### Andamento (1980-1997) della Produzione Totale di RSU nell'UE



## Andamento (1980-1997) della Produzione Pro-Capite di RSU nell'UE



## **Il Contesto italiano - Le informazioni e i dati**

Il quadro della situazione italiana relativamente alla gestione della informazione ambientale ed in particolare in materia di basi conoscitive sui rifiuti non è certamente confortante.

Fino alla metà degli anni '70 non esisteva, a livello nazionale, alcuna stima statisticamente significativa sulla produzione dei rifiuti.

In quegli anni, nell'ambito di un "Progetto Finalizzato Energetica I" del CNR, si è operato un primo serio censimento di quantità e tipologia dei rifiuti solidi urbani, industriali e agro-zootecnici prodotti a livello nazionale.

Il problema della totale mancanza di dati ambientali ha poi trovato un ulteriore tentativo di risposta con la legge 475/88.

Tale legge individuava una serie di importanti strumenti operativi quali:

- istituzione del Catasto rifiuti
- Osservatori regionali sui rifiuti
- Albo nazionale dei trasportatori e smaltitori dei rifiuti

Il Catasto veniva concepito come un sistema informativo, articolato su base regionale, contenente una serie di informazioni fornite a cura dei produttori e smaltitori dei rifiuti attraverso la compilazione di apposite schede di rilevamento.

Nonostante gli strumenti individuati fossero di per se adeguati, non si è pervenuti alla istituzione di un efficiente sistema conoscitivo in materia di rifiuti. Il Catasto ha infatti incontrato una serie di difficoltà di natura pratica, organizzativa, finanziaria, aggravata dalla stessa indeterminatezza nella individuazione dei soggetti obbligati alla dichiarazione (problema dei rifiuti assimilabili agli urbani, rifiuti avviati al recupero ecc.).

Gli Osservatori eccezion fatta per quello della Lombardia, non sono mai stati costituiti

Lo stesso Albo smaltitori (recentemente modificato nella sua forma istituzionale) non è entrato pienamente a regime.

Successivamente con la legge 70/94 e il DPCM agosto 1995, è stato introdotto il Modello Unico di Dichiarazione (MUD), affidando al sistema delle Camere di Commercio il compito di raccogliere ed elaborare i dati forniti con tali dichiarazioni da tutti i soggetti coinvolti nel ciclo dei rifiuti.

Nonostante i notevoli vantaggi introdotti da tali leggi sul piano della razionalizzazione del metodo di raccolta dei dati, di fatto l'alto livello di evasione, la mancanza di meccanismi di controllo sui dati dichiarati, la stessa continua modifica dei modelli di dichiarazione a fronte di mutati contesti legislativi, e la mancanza di un Organismo tecnico in grado di mettere a punto ed attivare procedure di validazione e controllo, non consentono l'instaurarsi di un sistema di conoscenza affidabile ed efficace.

### **La legge 61/94 e il d.lgs 22/97**

Con il regolamento del Consiglio 1210/90 la CE ha deciso l'istituzione dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) e della Rete Europea di Informazione ed osservazione Ambientale EIONET.

In linea con l'iniziativa europea la legge 21 gennaio 1994 n°61 ha avviato il processo di riordino del sistema di gestione dell'informazione ambientale e dei controlli con l'istituzione dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA), e il mandato alle Regioni di istituire analoghe agenzie a livello territoriale (ARPA).

L'ANPA di fatto è l'Organismo istituzionalmente deputato alla gestione dell'informazione ambientale, e a tal fine le competenze per le iniziative relative al Sistema di monitoraggio ambientale (SINA).

Per quanto attiene i rifiuti, il d.lgs. 22/97 conferisce all'ANPA compiti ben specifici: l'Art. 11 riorganizza il Catasto dei Rifiuti e determina la sua articolazione in una sezione nazionale presso l'ANPA, ed in sezioni regionali presso le ARPA.

Le sezioni regionali e provinciali sono poi tenute alla elaborazione dei dati e alla successiva trasmissione alla sezione nazionale ai sensi della legge 70/94. L'ANPA provvede poi alla elaborazione dei dati e alla evidenziazione delle diverse tipologie di rifiuti prodotti, raccolti, trasportati, smaltiti, recuperati, nonché degli impianti di recupero e smaltimento in esercizio.

Al di là delle aspettative derivanti dal quadro organizzativo nel complesso messo in piedi, la realtà è che i dati acquisiti ed elaborati attraverso la rete di raccolta esistente, sono assolutamente parziali, per difficoltà oggettive incontrate nella implementazione pratica del sistema di norme e regolamenti, sia per le diverse esenzioni, semplificazioni, che il sistema stesso prevede, sia per le rilevanti evasioni ed omissioni.



## I rifiuti Solidi Urbani

### Produzione

Il sistema di contabilità dei rifiuti e la relativa elaborazione dei dati così come in precedenza descritto, si basa su elementi ed informazioni acquisiti dal Sistema delle Camere di Commercio (attraverso le presentazioni dei MUD) e/o acquisiti altrimenti, nonché sulla organizzazione e capacità di elaborazione degli stessi da parte dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

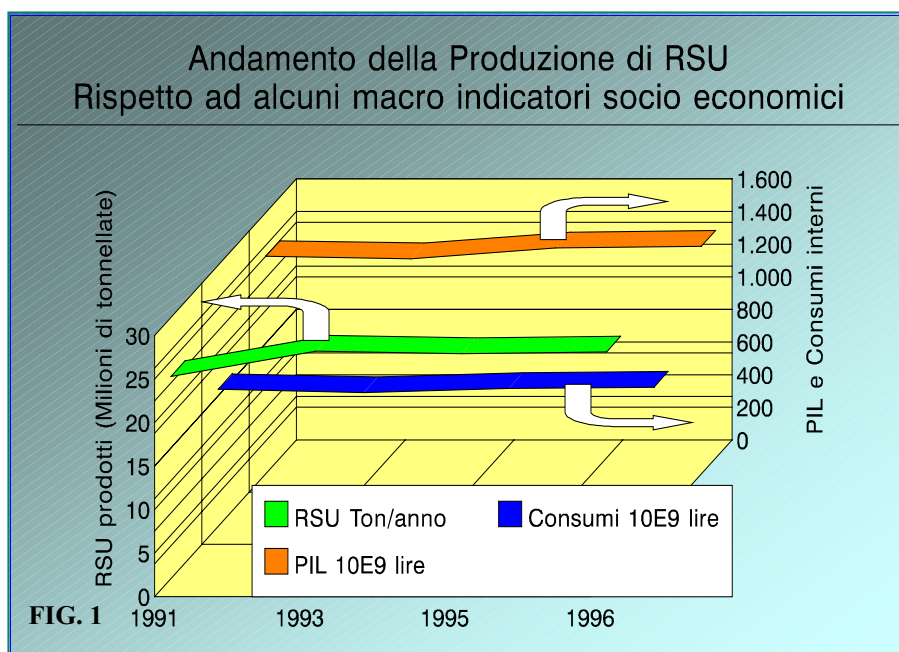
I dati nel seguito riportati sono stati tratti dal primo rapporto conoscitivo approntato in tal senso dall'ANPA nel giugno del 1998, e del secondo rapporto del febbraio 1999.

La produzione totale dei Rifiuti Solidi Urbani nel 1997 ammonta a 26,6 milioni di tonnellate.

La produzione di rifiuti è connessa alla capacità produttiva di un Paese. In particolare una delle principali *driving forces* connesse alla produzione di RSU, va ricercata, nell'evoluzione dei comportamenti di consumo delle famiglie.

Questa continua evoluzione condiziona le scelte, soprattutto quelle legate alla quotidianità (relative all'alimentazione, all'abbigliamento ecc.), che risultano poi essere quelle maggiormente connesse alla produzione di RSU.

Come si può notare dall'esame di fig.1, dopo una flessione dal 1993 al 1995, la quantità di RSU prodotta risulta lievemente aumentata, coerentemente con la crescita del PIL e la ripresa dei consumi.



La correlazione tra RSU e PIL così come è desumibile a livello regionale, conferma che in generale le regioni più ricche tendono ad avere una più alta produzione pro-capite di RSU. L'analisi comparata, a livello di area geografica e di

regione della quota pro-capite di RSU (**Fig. 2 e 3**) evidenzia da un lato differenze assolute

dovute alla diversa quantità di popolazione residente nelle diverse aree del Paese, dall'altro quantità pro-capite molto più uniformi, con uno sbilanciamento al Centro.

### Produzione di RSU in ITALIA

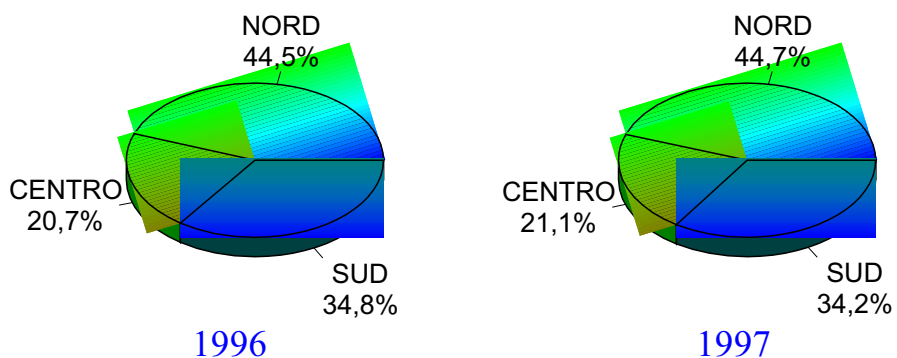


Fig. 2

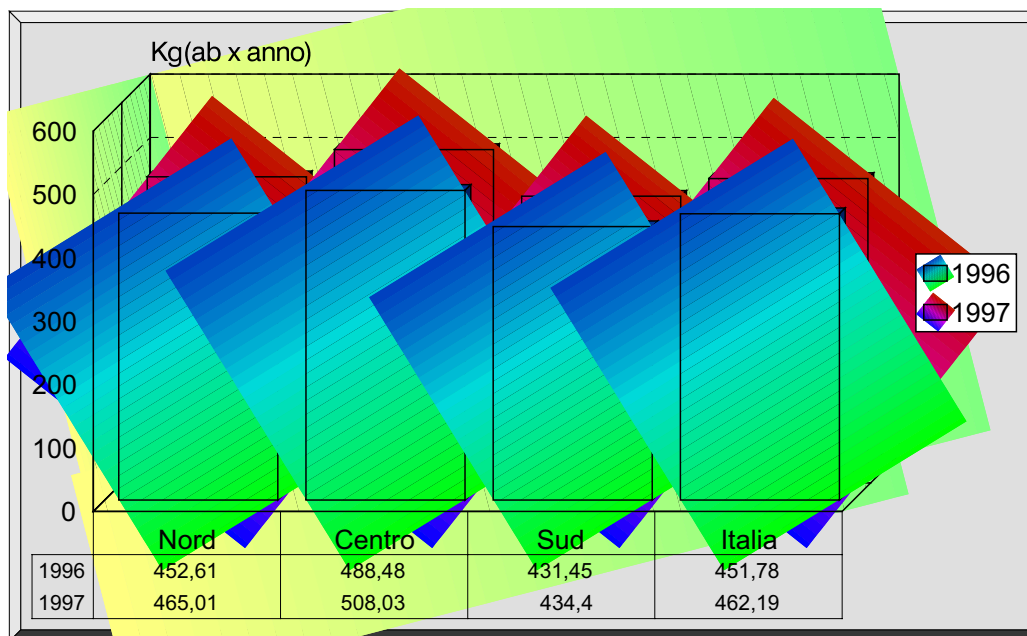


Fig. 3

## Lo smaltimento degli RSU

La situazione generale nel campo del trattamento dei Rifiuti Solidi Urbani, a livello nazionale, è caratterizzata da micro e macro emergenze, in un contesto di evoluzione normativa che, se da un lato tende a mettere ordine indicando stabilire le linee generali di tendenza, dall'altro crea situazioni al limite del collasso operativo se non di vero e proprio rischio igienico-sanitario, laddove rompe equilibri e modifica comportamenti ormai consolidati.

L'obiettivo primario resta la riduzione della produzione e successivamente il riutilizzo o il recupero degli RSU prima dello smaltimento in discarica della parte residuale. Purtroppo la situazione attuale, ad oltre due anni dall'emanazione del D.lgs 22/97, vede ancora il 90% dei RSU smaltiti in discarica. Le cause sono molteplici, e sicuramente ha inciso negativamente la situazione connessa alla legislazione sugli appalti.

Certamente la scarsa conoscenza della realtà e la diffusa avversità agli impianti che trattano rifiuti, sono elementi che possono portare alla paralisi tecnico-impiantistica del settore, favorendo nel contempo lo sviluppo di attività illecite, con grave pregiudizio non solo per la qualità e la salvaguardia dell'ambiente, ma anche per la stessa sopravvivenza delle imprese qualificate del settore.

I metodi di smaltimento dei Rifiuti Solidi Urbani e Assimilabili più diffusi, alternativi alla discarica, sono la biotrasformazione della frazione putrescibile in compost, la produzione di una frazione combustibile, (RDF-CDR) e la termodistruzione di quest'ultima o del rifiuto indifferenziato, con o senza recupero energetico.

Altre tecnologie di trattamento quali la gassificazione, e la digestione anaerobica, sono oggetto di una certa attenzione, anche se di tali sistemi non sono ancora state definite compiutamente l'economicità e l'affidabilità tecnica e ambientale.

La situazione complessiva nel campo del trattamento di RSU, alternativo al sistema delle discariche, così come riportato da un'indagine di AUSITRA Assoambiente <sup>[5]</sup> vede:

- il 3,2% di RSU destinato alla produzione di RDF-CDR e/o compost; buona parte dei prodotti ottenuti da questi impianti non trovano però un utilizzo e finiscono in discarica, per cui si stima che meno dell'1% di RSU venga trattato e/o venga trasformato in prodotti realmente utilizzati.
- gli impianti di trattamento di residui selezionati ricevono, anche attraverso forme di raccolta differenziata, ca. l'1% dei RSU prodotti;
- il 6,6% di RSU viene inviato direttamente ad un forno di incenerimento.

In conclusione a fronte di un esiguo 10,8% di RSU, variamente smaltito, una percentuale ancora minore subisce un destino finale diverso da quello della discarica.

L'energia elettrica prodotta grazie al termotrattamento dei rifiuti, ad esempio, ammonta a circa 350.000 MWh/anno, equivalenti ad una potenza installata di circa 50MWe, che rappresentano poco più del 3% di tutta l'energia teoricamente recuperabile dai RSU.

### **La dinamica delle raccolte differenziate**

La raccolta differenziata oltre a diminuire il flusso dei rifiuti da avviare allo smaltimento con indubbi vantaggi sul piano economico e del consenso popolare, permette soprattutto:

- la valorizzazione delle componenti merceologiche dei rifiuti sin dalla fase della raccolta;
- la riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti da avviare ad uno smaltimento indifferenziato, individuando tecnologie più adatte di gestione;
- il recupero di materiali ed energia nella fase di trattamento finale;

Inoltre l'importanza del recupero e della differenziazione dei rifiuti non può essere confinata, per i suoi risvolti positivi nel campo sociale e ambientale, entro i soli margini determinati dal loro valore commerciale. D'altra parte affinché un'analisi costi-benefici delle operazioni di raccolta differenziata risulti positiva è necessario che ad essa corrispondano, da un lato la realizzazione di efficienti impianti di recupero, dall'altro una sempre maggiore diffusione dell'utilizzo dei rifiuti recuperati.

Infatti è solo così che i rifiuti possono convertirsi da negatività, in quanto causa di costi (raccolta, trasporto smaltimento) in positività, in quanto materia prima per altri processi produttivi.

Naturalmente la selezione dei rifiuti, nei punti di produzione, permette di incrementare il tasso effettivo di recupero, grazie alla garanzia di un maggior grado di purezza delle frazioni merceologiche raccolte che ne aumenta il valore.

Il d.lgs. 22/97 fissa i seguenti obiettivi circa la quantità totale di RSU da recuperare:

- 15% entro il 1999;
- 25% entro il 2001;
- 35% entro il 2003.

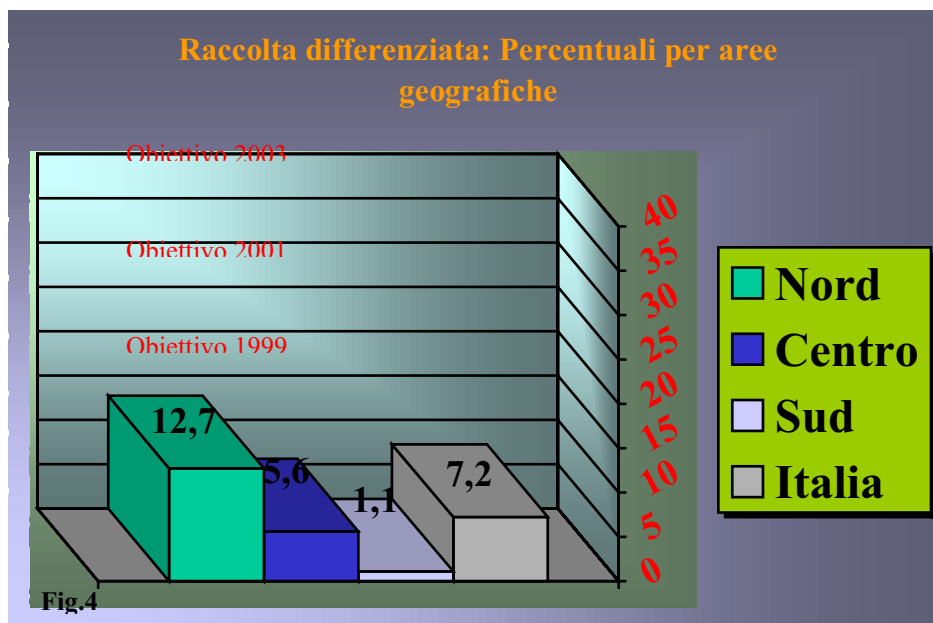
Resta da vedere se tali risultati saranno effettivamente conseguiti; a favore giocano senz'altro i meccanismi di disincentivazione economica, legati al non raggiungimento degli obiettivi prefissati, a sfavore le resistenze e le inerzie di ordine amministrativo, culturale, organizzativo ed economico che bisogna vincere.

La raccolta differenziata si indirizza prevalentemente verso alcune categorie di Rifiuti come prodotti cellulosici, contenitori in vetro, plastica e metallo, farmaci scaduti, pile esauste.

I dati relativi al 1996, così come raccolti ed elaborati dall'ANPA mostrano come in Italia siano stati raccolti in maniera differenziata circa 1.868.000 tonnellate di Rifiuti, pari al 7,2% della quantità totale di RSU prodotta nello stesso periodo. I dati sono riassunti nella Tabella e nei grafici appresso riportati.

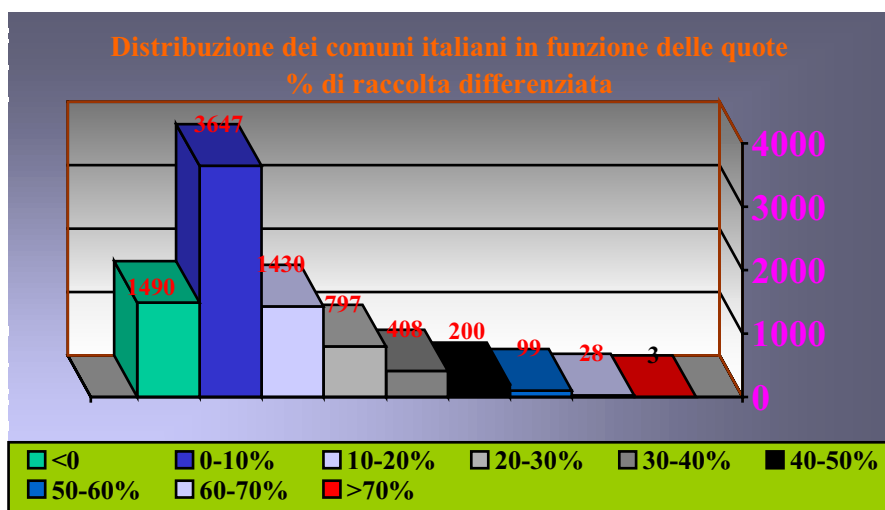
**Tab.1**

RACCOLTA DIFFERENZIATA DI RSU						
Regione	Abitanti	Produzione Totale	Raccolta indifferen.	Raccolta differen.	Raccolta differen.	Raccolta ingombranti
	milioni	T. x 1000/anno	%	T. x 1000/anno	%	%
<b>Piemonte</b>	4.294.127	1.816,86	89,5	136,16	7,5	3,0
<b>Valle D'Aosta</b>	119.224	59,00	92,2	3,73	6,3	1,5
<b>Lombardia</b>	8.958.670	3.877,66	72,4	816,05	21,0	6,6
<b>Trentino Alto Adige</b>	918.728	414,55	82,2	52,11	12,6	5,2
<b>Veneto</b>	4.452.793	1.909,74	86,5	196,84	10,3	3,2
<b>Friuli Venezia Giulia</b>	1.186.244	534,64	87,7	38,43	7,2	5,1
<b>Liguria</b>	1.650.724	842,68	94,5	39,40	4,7	0,7
<b>Emilia Romagna</b>	3.937.924	2.094,90	86,9	184,94	8,8	4,3
<b>NORD</b>	<b>25.518.434</b>	<b>11.550,02</b>	<b>82,8</b>	<b>1.468,16</b>	<b>12,7</b>	<b>4,5</b>
<b>Toscana</b>	3.524.670	1.837,49	90,9	139,93	7,6	1,5
<b>Umbria</b>	829.915	369,37	94,1	17,73	4,8	1,1
<b>Marche</b>	1.447.606	697,74	90,1	63,48	9,1	0,8
<b>Lazio</b>	5.217.168	2.478,14	95,0	79,35	3,2	1,8
<b>CENTRO</b>	<b>11.019.359</b>	<b>5.382,75</b>	<b>92,9</b>	<b>300,49</b>	<b>5,6</b>	<b>1,5</b>
<b>Abruzzo</b>	1.273.655	521,51	98,2	8,38	1,6	0,2
<b>Molise</b>	330.696	119,47	96,5	4,00	3,3	0,1
<b>Campania</b>	5.785.352	2.537,10	98,7	32,82	1,3	0,0
<b>Puglia</b>	4.087.697	1.721,96	98,6	20,84	1,2	0,2
<b>Basilicata</b>	607.859	204,36	98,1	3,70	1,8	0,1
<b>Calabria</b>	2.074.157	718,38	99,3	4,02	0,6	0,2
<b>Sicilia</b>	5.100.803	2.493,27	99,1	17,73	0,7	0,2
<b>Sardegna</b>	1.662.955	711,16	98,4	8,23	1,2	0,4
<b>SUD</b>	<b>20.923.184</b>	<b>9.027,21</b>	<b>98,7</b>	<b>99,73</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>
<b>ITALIA</b>	<b>57.460.977</b>	<b>25.959,99</b>	<b>90,4</b>	<b>1.868,38</b>	<b>7,2</b>	<b>2,4</b>



I valori, come si vede, sono sensibilmente distanti dagli obiettivi prefissati, sia come media nazionale, sia per aree geografiche. Si vede come, se da un lato esistono realtà molto progredite (Lombardia) dove l'obiettivo previsto

per il 1999 è stato ampiamente raggiunto, dall'altro quasi tutte le regioni del SUD presentano quote di Raccolta differenziata inferiore al 2%.



A livello dei singoli comuni (fig.5) si vede come ben 5981 comuni pari al 73,8% del totale abbiano effettuato una raccolta differenziata di RSU su una quota inferiore al 15% (obiettivo 1999).

1077 comuni (13,3%) hanno effettuato raccolte differenziate per quote tra il 15% ed il 25%. 530 comuni (6,5%) hanno raccolto tra il 25% e 35%. Infine 514 (6,3%) presentano quote di differenziazione dei rifiuti superiore al 35%.

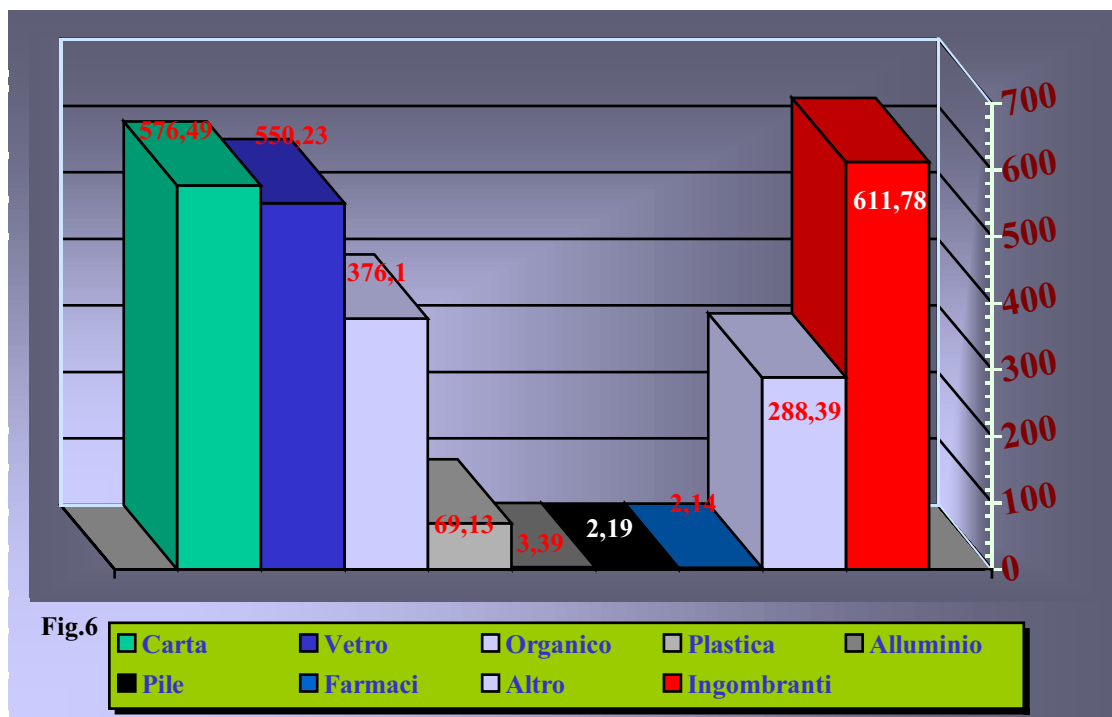
Passando alle analisi delle singole frazioni merceologiche raccolte a livello nazionale (fig.6) si può constatare come la carta e il vetro raggiungano le più alte percentuali, seguiti dalle frazioni organiche.

Un' analisi più approfondita dei dati e dei criteri con cui sono stati elaborati deve comunque tener conto del fatto che:

- la rappresentazione delle diverse frazioni merceologiche è quella che si desume dalla lettura dei MUD, per i quali però non esiste una metodologia uniforme di computo delle

quantità relative delle diverse frazioni merceologiche, risultando conseguentemente difficile valutarne in modo oggettivo l'entità;

- Non vi è corrispondenza tra i criteri di distinzione merceologica prevista nel MUD e le distinzioni che generalmente si fanno a livello di categorie di rifiuti da differenziare;
- il Decreto Ronchi inoltre chiarisce che la raccolta differenziata va riferita esclusivamente



alle frazioni merceologiche omogenee destinate al riutilizzo, al riciclaggio ed al recupero di materia prima.

Tenuto conto della bassissima percentuale di recupero di materia, risulta evidente come la maggior parte delle frazioni raccolte selettivamente finisca in realtà in discarica, e che le percentuali reali siano in realtà molto più basse di quelle riportate e ancora più lontane dagli obiettivi prefissati per legge.

## Gli imballaggi e i rifiuti di imballaggio

Il Termine imballaggio riassume in sé l’insieme delle operazioni volte a realizzare il trasporto di un prodotto, la conservazione, la collocazione sul mercato di sbocco. Negli ultimi decenni si è assistito ad un radicale cambiamento nella concezione della funzionalità merceologica da attribuire agli imballaggi, tanto che sempre più spesso un singolo imballaggio viene utilizzato più volte nel corso della sua vita, spesso con diverse destinazioni d’uso.

Lo sviluppo di tecniche di imballaggio ha favorito la nascita di un settore industriale che si occupa esclusivamente di imballaggi. Ormai l’imballaggio ha sempre più spesso funzionalità specifiche che lo fanno rientrare pienamente nel campo della gestione economica delle imprese. Tali funzionalità vanno dalla semplice protezione del prodotto conservato, all’informazione al consumatore.

Gli imballaggi sono tradizionalmente distinti in:

- Imballaggi primari, destinati al confezionamento della merce e concepiti come unità per la vendita all’utente finale ;
- Imballaggi secondari, destinati al confezionamento di un prodotto già dotato di imballo primario e concepiti per raggruppare un certo gruppo di unità di vendita, nonché per l’esposizione della merce;
- Imballaggi terziari, destinati al trasporto e alla movimentazione della merce .

La **produzione italiana** di imballaggi, come stimata dall’istituto italiano imballaggi, nel 1996 era pari a circa **12,2 milioni di tonnellate**, con un fatturato di circa 30.000 Mld, con oltre 3.500 aziende e oltre 96.000 addetti

<b>Produzione Italiana di imballaggi (ton. X 1000)</b>				
	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>
Acciaio	545	607	607	621
Alluminio	94	77	74	71
Poliaccoppiato rigido	155	159	150	149
Poliaccoppiato flessibile	193	147	154	156
Carta e cartone	3.077	3.427	3.643	3.652
Plastiche	1.974	2.130	2.311	2.379
Vetro	2.656	2.873	2.933	2.941
Altro	412	430	187	180
Legno	3.543	3.600	2.355	2.080

*L’utilizzo di imballaggi* - calcolato come consumo apparente (produzione nazionale di imballaggi vuoti + importazioni – esportazioni) – è anch’esso in crescita ed è valutabile oltre le 11 milioni di tonnellate.

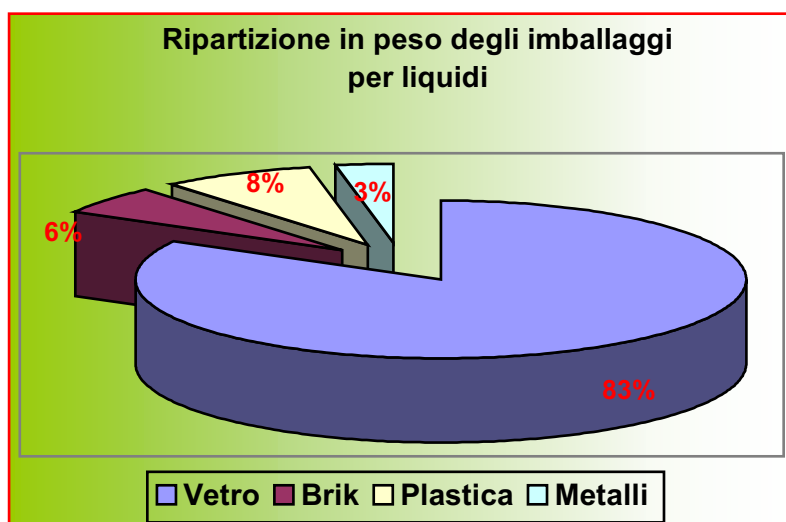


*Il consumo finale* è determinato considerando il flusso di imballaggi importati ed esportati assieme alle merci consumate (utilizzo interno + importazione di imballaggi pieni – esportazione imballaggi pieni).

Il consumo finale di imballaggi è pertanto la base di riferimento per l'applicazione delle direttive europee in materia e per il raggiungimento degli obiettivi di recupero previsti dal Dlgs 22/97.

<b>Consumo finale imballaggio in Italia 1996</b>				
	<b>Produzione</b> Ton x 1000	<b>Consumo finale</b> Ton x 1000	<b>Consumo finale</b> %	
Vetro	2.941	2.049	70	
Metalli	804	477	59	
Plastica	2.535	1.685	66	
Legno	2.080	1.777	85	
Carta	3.801	3.060	81	
Altri	68	68	100	
<b>Totale</b>	<b>12.229</b>	<b>9.116</b>	<b>75</b>	

Gli imballaggi hanno molteplici aree di impiego. L'imballaggio per prodotti alimentari –non liquidi- copre oltre il 40% dei consumi e nell'ultimo decennio ha registrato una forte crescita. L'imballaggio dei liquidi alimentari copre circa il 24% dei consumi e nell'ultimo decennio ha registrato una crescita di oltre il 70%. L'imballaggio dei prodotti non alimentari – dai detergenti ai prodotti tecnici – copre circa il 35% del mercato ed è il



settore in crisi con una riduzione del 30% negli ultimi 8 anni.

Gli imballaggi per liquidi alimentari sono tra le merci più importanti ai fini della predisposizione di politiche di recupero, riciclo e minimizzazione.

In termini quantitativi, il vetro è il

materiale principale nell'imballaggio dei liquidi con una quota pari all'83% in peso del totale, seguito dalle plastiche (PET, PVC, PE) con circa l'8%, dal poliaccoppiato con il 6% dalle lattine in alluminio e banda stagnata con circa il 3%.

Il consumo di imballaggi e quindi la generazione di rifiuti da imballaggio, avviene in diverse fasi e diverse aree.

Distribuzione per aree di impiego degli imballaggi				
	Domestici	Commercio	Industria e G. distribuzione	
Vetro	89%	4%	8%	
Plastica	65%	9%	20%	
Carta	36%	24%	40%	
Alluminio	86%	11%	3%	
Acciaio	54%	5%	41%	
Legno	5%	17%	79%	
Altro	59%	9%	32%	
<b>Totale</b>	<b>48%</b>	<b>14%</b>	<b>37%</b>	

Secondo l'Istituto Italiano imballaggi, nella distribuzione per aree di impiego di imballaggi, i consumi domestici assorbono circa il 48% degli imballaggi, il commercio tradizionale circa il 14% e l'industria assieme alla grande distribuzione circa il 37%. Da ciò deriva una ripartizione dei rifiuti da imballaggio nella quale la quantità che confluisce nei RSU è pari a **5,7 milioni di tonnellate** ed equivalente al 22% dei RSU totali generati.

Rifiuti di Imballaggio ton. X 1000				
	Rifiuti Urbani		Rifiuti Assimilabili	
	Domestici	Commercio	Industria e G. distribuzione	
Vetro	1.817	77	155	
Plastica	1.090	152	443	
Carta	1.106	728	1.226	
Alluminio	44	5	2	
Acciaio	231	22	173	
Legno	88	294	1.395	
Altro	40	6	22	
<b>Totale</b>	<b>4.416</b>	<b>1.284</b>	<b>3.416</b>	
	<b>5.701</b>		<b>3.416</b>	

Per la predisposizione di programmi di prevenzione e di recupero dei rifiuti di imballaggio è necessario valutare e quantificare oltre la produzione totale di rifiuti di imballaggio, anche la quota di questi che si trova nel flusso dei rifiuti urbani e assimilabili.

Tali stime dovranno poi essere validate da indagini dirette sulla presenza di imballaggi nei rifiuti. A tutt’oggi non esistono stime attendibili, su scala nazionale, di caratterizzazione merceologica dei RSU.

Pertanto risulta estremamente difficile valutare l’esattezza delle stime fatte in precedenza. A questo proposito c’è da dire che l’analisi dei dati, - relativi a valutazioni merceologiche dei rifiuti fatte a livello locale agli inizi degli anni 90 – e la loro estrapolazione a livello nazionale farebbe lievitare la quantità dei rifiuti di imballaggio ad un valore compreso tra le 7,5 e le 9 milioni di tonnellate.

L’unica considerazione che pare logico fare è che entrambi gli approcci per la stima e la quantificazione dei rifiuti di imballaggio sono inficiati da errori che difficilmente, mancando indagini serie ed organiche, possono essere corretti.

Tuttavia da più parti emerge l’orientamento di assumere come più vicini alla realtà i valori di produzione più elevati, anche se risulta difficile capire su quali basi si sia fatta questa scelta.

## **Il Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI)**

Il D.lgs. 22/97 ha istituito dei Consorzi Nazionali Obbligatori per il Riciclaggio dei Contenitori per liquidi in vetro, metallo, plastica ecc. Obiettivo principale della normativa è la riduzione dell’impatto ambientale di tutti i rifiuti da imballaggio, da attuarsi soprattutto attraverso l’incremento delle quote avviate ogni anno al recupero ed al riciclaggio. Il Decreto Ronchi si propone di dare un forte impulso alla valorizzazione come materiale (attraverso il riciclo) e come combustibile (attraverso il recupero di energia) degli imballaggi post-consumo che rappresentano una quota importante dei rifiuti smaltiti quotidianamente in Italia. Contestualmente si tende a ridurre le quote di rifiuti di imballaggi smaltite in discarica. Per consentire il raggiungimento dell’obiettivo **50% di rifiuti di imballaggi recuperati** si dà vita ad un nuovo sistema articolato su due livelli: uno, più alto di pianificazione e di coordinamento, che corrisponde al Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI), un secondo più basso –a carattere operativo- al quale si collocano i consorzi di materiale o di filiera (uno per ogni tipologia di materiale di imballaggio ad es. CIAL – Consorzio Italiano Alluminio, CO.RE.VE-Consorzio Recupero Vetro, COMIECO –per la carta, CO.RE.PLA –per la plastica ecc.).

Il CONAI, costituitosi il 30 ottobre 1997 non ha fini di lucro e ha, come suo fine istituzionale, il raggiungimento degli obiettivi globali di recupero e riciclaggio dei rifiuti di imballaggio, nonché di garantire il necessario raccordo con l’attività di raccolta differenziata

effettuata dalle pubbliche amministrazioni. Sono tenuti ad aderire al CONAI tutti i produttori e gli utilizzatori di imballaggi.

Le funzioni che il CONAI deve svolgere sono le seguenti:

- definire gli ambiti territoriali in cui rendere operante un sistema integrato che comprenda la raccolta, la selezione ed il trasporto dei materiali selezionati a centri di raccolta o di smistamento e le condizioni generali di ritiro dei rifiuti selezionati;
- elaborare il Programma generale per la prevenzione e la gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio;
- assicurare la cooperazione tra i consorzi di filiera;
- garantire il necessario raccordo tra l’amministrazione pubblica, i consorzi e gli operatori economici;
- organizzare le campagne di informazione e sensibilizzazione;
- ripartire tra i produttori e gli utilizzatori i costi della raccolta differenziata, del riciclaggio, del recupero degli imballaggi;
- stipulare un Accordo di programma con l’associazione dei comuni (ANCI) che stabilisca l’entità dei costi della raccolta differenziata dei rifiuti di imballaggio;
- organizzare le attività di raccolta differenziata direttamente sul territorio, qualora i comuni non vi provvedano direttamente.

L’adesione al CONAI interessa la quasi totalità del sistema produttivo e commerciale. Essa riguarda infatti le imprese che producono ed importano imballaggi, le imprese che utilizzano imballaggi, che importano beni imballati, o che li commercializzano, a prescindere dal tipo di imballaggio (primario, secondario o terziario). Sostanzialmente solo le imprese di servizi ed i consumatori non devono aderire al CONAI.

### **La normativa sui Rifiuti recuperabili e sulle *materie prime seconde***

Con la pubblicazione sulla G.U. del D.M. 05/02/98 ( individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero) si è dato attuazione a quanto previsto agli articoli 31 e 33 del D.lgs 22/97, sostituendo nel contempo le norme sino ad allora in vigore, definite nei D.M 05/09/94 e 16/01/94.

Relativamente alle attività di recupero si precisa che:

- le attività, i procedimenti ed i metodi di riciclaggio e di recupero devono garantire l’ottenimento di prodotti o di materie prime secondarie, con caratteristiche

merceologiche conformi alla normativa tecnica di settore, o comunque nelle forme usualmente commercializzate;

- i prodotti, le materie prime e le materie prime secondarie ottenuti dal recupero dei rifiuti non devono presentare caratteristiche di pericolo superiori a quelle dei prodotti e delle materie ottenuti dalla lavorazione delle materie prime vergini;
- i prodotti ottenuti dal recupero dei rifiuti e destinati a venire a contatto con gli alimenti devono rispettare quanto previsto dal DM 21/03/73

Il D.M. disciplina anche i requisiti tecnici di base per gli impianti di recupero e trattamento dei rifiuti.

Limitatamente al tema della presente tesi vale la pena rilevare che, sia i rottami di vetro così detti “pronto al forno” che gli scarti primari di alluminio (vedi avanti) non sono sottoposti alla normativa sulle materie prime seconde (per ovvie ragioni di carattere produttivo che saranno chiarite nel seguito), mentre sono soggette al regime normativo e alle disposizioni del D.M. 05/05/98 tutte le categorie merceologiche costituite da vetro o leghe di alluminio recuperabili dai RSU, quale che sia la loro forma o composizione.

**Obiettivi della Tesi: Il Vetro e l’Alluminio Secondari – motivazioni**

Quando si parla di recupero e riciclo di un rifiuto solitamente si enfatizzano gli aspetti tipicamente ecologici come rispetto dell'ambiente, riduzione dei rifiuti, conservazione delle risorse, si deve altresì considerare anche l'aspetto economico del problema. Una operazione di recupero se seguita da una opportuna strategia di riciclo o di semplice rivalorizzazione, può proiettare ricadute positive sull'economia di una regione. Si tratta solo di effettuare le opportune scelte operative sui parametri in gioco (ambientali, economici, tecnici, sociali e politici).

L’alluminio ed il vetro sono materiali che per le loro caratteristiche peculiari (struttura, costi di produzione, conservazione delle prerogative fondamentali) si prestano al riciclo più di altri. I manufatti costruiti con tali materiali, quando vanno in obsolescenza possono potenzialmente trovare tutti una loro idonea e corretta collocazione nel ciclo delle operazioni di recupero e riciclo tradizionali.

La dinamica dei sistemi di raccolta differenziata e di recupero delle *materie prime seconde* è tale per cui, più un sistema di raccolta e recupero è selettivo, più si rivela agevole il successivo riciclo e reinserimento nel ciclo produttivo della materia recuperata. Allo stesso tempo, al diminuire della selettività del sistema di raccolta adottato, corrisponde un aumento delle difficoltà tecnologiche connesse al riciclo di ciascun materiale. Oltre tutto, il complesso delle operazioni connesse alla costituzione di una rete di raccolta capillare, nonché la riconduzione a grandi siti di stoccaggio delle materie prime recuperate, è estremamente onerosa. Lo è sia in termini di impegno di risorse economiche, sia in termini di impegno e passione civile dei singoli individui impegnati. In mancanza di questi ultimi probabilmente i costi risulterebbero insostenibili.

Come tendenza generale, infatti, i costi di una raccolta estremamente selettiva e/o capillare, sono troppo elevati per potersi compensare con i ricavi ottenibili dal riciclo della materia recuperata. Ciò è tanto più vero quanto più il materiale che si prende in considerazione è povero. Naturalmente nel caso di un materiale ad elevato valore aggiunto (es. scarti della lavorazione di metalli preziosi) tale principio generale non può essere esteso.

L’alluminio ed il vetro si collocano ad un livello intermedio. Il loro valore intrinseco deriva dalla opportunità di risparmiare gli elevati costi della produzione primaria, tra cui quelli energetici assumono importanza preponderante.

In funzione delle fonti di materia prima seconda (produzione primaria, produzione di semilavorati, fabbricazione di oggetti destinati al consumo finale, fine del ciclo di vita e obsolescenza dei manufatti), le tipologie e le caratteristiche dei materiali recuperati si presentano estremamente variegate. Seppure aventi lo stesso componente di base spesso si tratta di materiali tra loro incompatibili, o che, comunque, non possono essere inseriti nel medesimo ciclo di smaltimento, né additivati allo stesso ciclo di produzione primaria produzione primaria, pena uno scadimento qualitativo dei materiali prodotti. Nel caso del vetro e dell’alluminio, è ben noto agli operatori del settore come non sia possibile riciclare assieme vetri di diverso colore, o leghe di alluminio di diversa composizione.

Si tratta di limitazioni tecnologiche molto importanti che nell’attuale contesto economico-produttivo finiscono col limitare la capacità di recupero e smaltimento (peraltro perentorie e stabilite per legge), oltrechè mortificare molte delle iniziative (spesso ad opera di privati o associazioni di volontariato) prese in tal senso.

Il risultato è la impossibilità pratica di riciclare e smaltire per questa via in modo differenziato ingenti quantità di materia prima seconda che, seppur raccolta selettivamente, viene destinata comunque allo smaltimento in discarica. Si tratta di uno spreco perché si finisce col perdere l’energia che al momento della produzione primaria viene immagazzinata nel materiale ed è tuttora contenuta nei manufatti obsoleti.

In questa tesi si intende mostrare qualche via per superare le difficoltà di ordine tecnico-industriale nello smaltimento dell’alluminio e del vetro secondari connesse con la sola disponibilità del processo di riciclo per il riuso di questi materiali. Ciò si ottiene attraverso l’individuazione di processi alternativi di smaltimento. Si tratta, come vedremo, dell’applicazione e dello sviluppo di idee semplici concettualmente e tecnologicamente ma di elevato valore e contenuto innovativo.

Il lavoro di ricerca svolto ha permesso di sviluppare ed affinare tecnologie alternative ai metodi convenzionali e di acquisire un know-how innovativo di semplice applicazione, e di riconosciuto valore industriale.

Nel seguito verranno trattate le tematiche relative alla gestione di materie prime seconde quali **vetro e alluminio** che tradizionalmente sono presenti nei RSU quasi totalmente come materiali generati da imballaggi in obsolescenza.

In particolare, movendo da una analisi complessiva delle esigenze di mercato e delle tecnologie di smaltimento, recupero e valorizzazione di queste materie prime seconde si perseguirà il duplice scopo di: a) individuare e perfezionare due procedimenti chimico-industriali finalizzati alla valorizzazione dell'alluminio e del vetro secondari mediante la conversione chimica di questi materiali in prodotti di interesse commerciale e/o eneregia; b) verificare e stabilire quali sono i contesti e gli ambiti operativi, nonchè i parametri economici che rendono possibile l'applicazione pratica delle tecniche messe a punto.



## PARTE II

<p><b>TRATTAMENTO DEL VETRO SECONDARIO ALTERNATIVO AL RICICLO CONVENZIONALE</b></p>
---

## Merceologia del Vetro

Gli inizi della produzione del vetro risalgono ai più antichi periodi della storia umana; secondo l'affermazione dello scrittore Plinio il Vecchio il vetro sarebbe una scoperta fortuita dei naviganti fenici. Più verosimilmente è probabile che il vetro sia stato scoperto anteriormente quale scoria nella fusione dei metalli. La fabbricazione vera e propria pare aver avuto inizio intorno al 2500 a.C. in Egitto e in Mesopotamia. Intorno al 1000 a.C. l'industria egiziana raggiunse il suo massimo splendore e nel terzo secolo a.C. con il travolgente sviluppo di Alessandria, il vetro invase i mercati di tutto il mondo.

L'espansione romana favorì ulteriormente il diffondersi del vetro; fu in questo periodo (1° sec. a.C.) che in Siria fu introdotta la canna da soffio. Di fatto questa costituì l'unica vera e propria innovazione tecnologica nell'industria del vetro fino al 1880 quando, ad opera dei tedeschi Schott e Abbe, si dette un impulso decisivo allo studio scientifico sistematico chimico e fisico dei vetri e delle materie che li costituiscono. Questi studi hanno a poco a poco consentito la fabbricazione di vetri tecnici speciali, ognuno con un proprio settore di impiego.

Da un punto di vista merceologico il vetro è un prodotto inorganico di fusione trasparente ed omogeneo che si è raffreddato fino ad assumere uno stato rigido senza cristallizzazione. Esso si presenta come una sostanza amorfa, tanto che può essere considerato come una soluzione liquida infinitamente viscosa, nel cui interno non possono più aver luogo gli spostamenti necessari alla costruzione dell'edificio cristallino. Sono solo tre i composti binari conosciuti in grado di esistere allo stato vetroso a temperatura ambiente: La silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'anidride borica ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), e l'anidride fosforica ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). In natura si trovano molti prodotti che realizzano in tutto o in parte lo stato vetroso: lave, basalti, ossidiane, pomici.

La maggior parte dei vetri artificiali sono costituiti da una miscela di vari componenti, sebbene esistano alcuni esempi a componente unico come il vetro di silice

Tutte le materie prime utilizzate nell'industria del vetro entrano solo in parte nella composizione del prodotto finito (sotto forma di ossidi); infatti il vetro può essere rappresentato chimicamente come una miscela di ossidi.

Le materie prime utilizzate nella fabbricazione del vetro vengono classificate in varie categorie:

- a) *Materie prime vetrificanti*; si tratta di sostanze che previa fusione e ricondensazione passano da un stato cristallino ad uno stato amorfo (silice, anidride fosforica, borica). La silice in particolare, è il principale

costituente del vetro –circa il 75% - e viene introdotta nella miscela vetrificabile sotto forma di grani di quarzo (sabbia silicea).

- b) *Materie prime fondenti*; sono sostanze aggiunte per facilitare la fusione delle miscele che altrimenti avverrebbe oltre i 1700°C. Si tratta del Carbonato di sodio e di potassio (usato più di rado). Il carbonato di sodio (soda) introduce nella miscela finita l’ossido di sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ); il fondente più comunemente usato è del tipo Solvay (calcinato).
- c) *Materie prime stabilizzanti*; vengono aggiunte alla miscela al fine di rendere il vetro più stabile ed inattaccabile agli agenti atmosferici e chimici. Lo stabilizzante più comunemente usato è il calcare ( $\text{CaCO}_3$ ) che introduce nella miscela finita l’ossido di Calcio ( $\text{CaO}$ ). Il tipo più pregiato di carbonato è costituito dal marmo bianco, generalmente ricavato da sfridi di lavorazione dei materiali ad elevata purezza provenienti dalle cave delle Alpi Apuane. Altri tipi di stabilizzanti sono la dolomite ( $\text{MgCO}_3\text{-CaCO}_3$ ) e gli ossidi di piombo, zinco ed alluminio.
- d) *Materie prime accessorie*; si tratta di sostanze aggiunte per affinare, colorare e opacizzare; tra i più importanti vi sono l’anidride arseniosa, il nitrato di sodio e di potassio.

Il ciclo tecnologico dell’industria del vetro può essere ricondotto, prescindendo dai vari tipi di produzione effettuabile, alla seguente successione di fasi operative:

- Macinazione delle materie prime
- Pesatura, dosaggio e miscelatura
- Fusione
- Affinaggio ed omogenizzazione
- Riposo
- Lavorazione
- Stabilizzazione

I moderni forni di fusione possono essere del tipo a *crogioli* o a *bacino*.

I forni a crogioli sono utilizzati per applicazioni particolari e per piccole produzioni (es. industria ottica); i forni a bacino permettono invece produzioni continue fino a 700 ton di vetro al giorno.

Esistono due tipologie di forni, una per il vetro piano e l’altra per il vetro cavo.

### Le proprietà chimico-fisiche del vetro

Il vetro possiede alcune proprietà specifiche che gli sono conferite dai suoi componenti.

Da un punto di vista chimico esso presenta una notevole inerzia dovuta in massima parte all'azione del silicato di calcio.

Le proprietà fisiche del vetro si possono suddividere in:

- a) proprietà meccaniche: durezza, fragilità, basso modulo di elasticità;
- b) proprietà termiche: Elevato coefficiente di dilatazione termica –  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  riducono la resistenza del vetro agli sbalzi termici, viceversa  $\text{SiO}_2$  e  $\text{B}_2\text{O}_3$  la aumentano;
- c) proprietà ottiche: Trasparenza e rifrazione – la prima dipende dall'entità delle impurezze (ossidi di ferro), la seconda è esaltata da piombo e potassio;
- d) proprietà elettriche: si tratta di un ottimo isolante.

### Le utilizzazioni del Vetro

Nel campo delle utilizzazioni tradizionali del vetro la distinzione più importante è quella tra vetro piano e vetro cavo.

Generalmente la composizione del **vetro piano** è la seguente:

TAB. 1

$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
71-73%	12-14%	10-12%	1-4%	0,5-1,5%

E' molto importante sottolineare la funzione che il vetro piano assolve nell'edilizia moderna. Meritano pure un accenno i così detti vetri di sicurezza, ossia quei vetri che rompendosi non producono frammenti scheggiosi.

Il **vetro cavo** o vetro per contenitori ha solitamente la seguente composizione tipica.

TAB. 2

$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{BaO}$	$\text{SO}_3$	F	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
65-75%	12-14%	6-12%	0-3%	0-1%	0-1%	0-0,5%	11-17%	0-6%



### Tecnologia e condizioni di efficienza nell'industria vetraria

Il problema del risparmio energetico è particolarmente sentito nel comparto del vetro, a causa delle tecnologie produttive che richiedono temperature superiori a 1700°C. Nei fatti il risparmio energetico si ottiene mediante l'uso combinato di materiali e dispositivi tecnologici. Per quanto riguarda il primo punto ci si riferisce alla scelta delle materie fondenti e al taglio delle materie prime con rottami riciclati, il secondo punto è relativo ai dispositivi di risparmio e recupero energetico.

I fondenti com'è noto vengono aggiunti alla miscela vetrificabile per abbassare il punto di fusione e ridurre l'energia necessaria. I fondenti tradizionalmente usati sono la soda e la potassa, dei quali il più usato è la soda, essendo i vetri prodotti con questo materiale più resistenti di quelli in cui si adopera potassa (utilizzata ormai solo per vetri particolari, cristalleria, vetri d'ottica ecc.). La percentuale di entrambi questi alcali deve comunque essere contenuta il più possibile se non si vuole diminuire oltre misura la resistenza chimica del materiale. A tal proposito per usi particolari (settore farmaceutico, laboratori) si utilizza il boro che è un fondente a tutti gli effetti, ma che in più garantisce ottime prestazioni chimiche (inerzia) e resistenza agli sbalzi termici. I vetri così ottenuti sono detti borosilicati o neutri ed il più noto è certamente il Pirex.

I rottami di vetro che provengono sia dai residui di lavorazione che da manufatti di vetro obsoleti rappresentano anch'essi un ottimo materiale fondente. In termini di risparmio energetico, basta considerare che a fronte di un fabbisogno energetico nel normale processo produttivo del vetro di 3100 kcal/kg, l'impiego di rottami di vetro abbassa l'energia necessaria a 1400 kcal/kg con un risparmio quindi di ben 1700 kcal/kg. I rottami devono però essere selezionati in base alla loro composizione, e devono venir impiegati solo come aggiunta alla linea produttiva del vetro primario di eguale composizione; in caso contrario il rischio è di provocare variazioni incontrollabili e a volte anche dannose nella composizione del prodotto finito.

Bisogna fare attenzione che i rottami siano puliti ed esenti da impurità specie di ferro. Nella produzione primaria dei vetri comuni il rottame non può comunque superare il 30%.

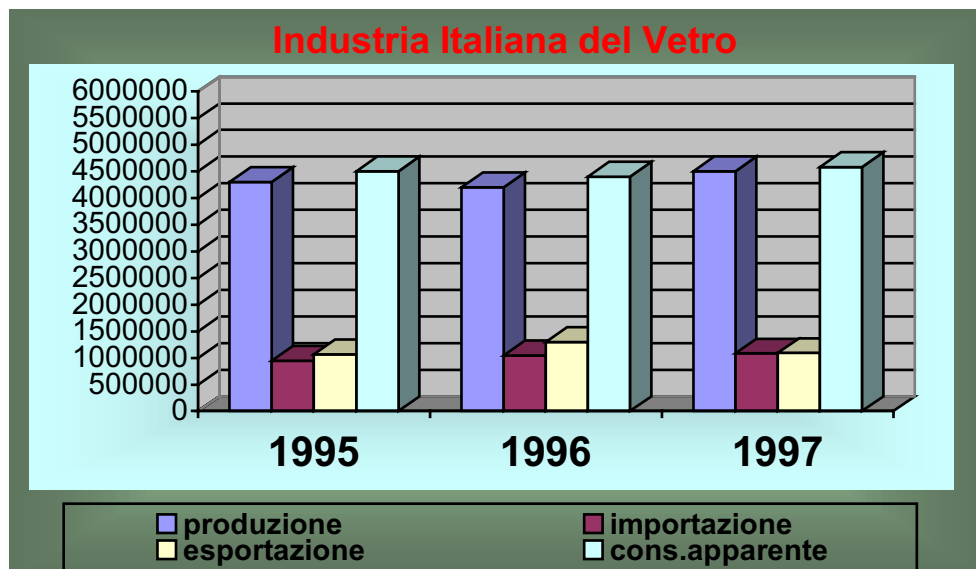
Dunque i manufatti in vetro, se concepiti per essere riciclati, devono soddisfare la condizione di essere ricondotti alla fabbricazione di manufatti assolutamente identici a quelli primari.

### **L'industria del Vetro in Italia ed in Europa**

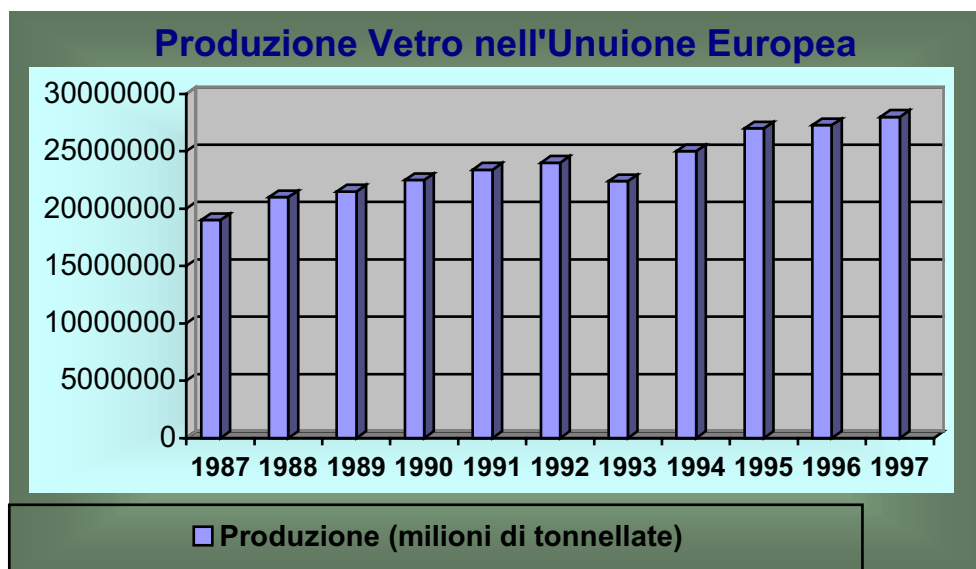
- La produzione nazionale vetraria nel 1997 è risultata pari a 4.529.305 ton. a fronte di una produzione di 4.387.479 ton del '96, con un incremento pari al 3,23%,
- le importazioni (con esclusione dei rottami di vetro) pari a 1.031.347 ton. sono aumentate del 13,40% rispetto al 1996, mentre
- le esportazioni pari a 1.016.698 sono cresciute del 8,59 %.

SULLA PRODUZIONE TOTALE NAZIONALE, 1.050.000 TONN. PARI AL 23,18% È RAPPRESENTATO DA VETRO PIANO; 2.558.634 TONN. PARI AL 56,49 % È COSTITUITO INVECE DA VETRO CAVO PER LA PRODUZIONE DI BOTTIGLIE; A QUESTE VANNO AGGIUNTE LE PRODUZIONI DI VETRO CAVO PER LA FABBRICAZIONE DI FLACONI, VASI ALIMENTARI, ARTICOLI VARI CON UNA PRODUZIONE DI 553.024 TONN. PARI AL 12,21% DELLA PRODUZIONE TOTALE.

IL SETTORE DELLE FIBRE DI VETRO, DEI CRISTALLI E DEI LAVORATI A MANO RAPPRESENTANO RISPETTIVAMENTE UNA QUOTA PARI AL 2,43% E 2,20%.



#### IL RICICLO DEL VETRO: ATTUALITÀ E PROSPETTIVE



Il 23 ottobre 1997 i produttori di imballaggi in vetro hanno dato vita al Consorzio Recupero Vetro (CO.RE.VE), cui aderiscono, oltre ai produttori di vetro cavo meccanico per imballaggio, anche gli importatori, sia imbottiglieri che grossisti.

Il 95% delle quote di partecipazione è assegnato ai produttori, il restante 5% agli importatori. Così come il CONAI, di cui costituisce uno dei consorzi di filiera, il CO.RE.VE. non ha scopi di lucro e ha il compito di organizzare:

- a) le raccolte differenziate degli imballaggi di vetro secondo gli indirizzi del CONAI;
- b) il ritiro, su indicazione del CONAI, dei rifiuti di imballaggio in vetro conferiti al servizio pubblico;

- c) il riciclaggio di tali rifiuti di imballaggio, mediante avvio alle aziende vetrarie per l’impiego come materia prima nella fabbricazione di nuovi contenitori in vetro;
- d) il recupero in forme diverse dal riciclaggio delle quantità eccedenti gli obiettivi stabiliti dal D.lgs. 22/97 e che non possono trovare impiego presso le aziende vetrarie.

Nel seguito vengono riportati i dati a tutt’oggi disponibili su base nazionale, così come richiamati dal CO.RE.VE. nel proprio *Piano di Prevenzione 1999-2002* ed elaborati dallo stesso consorzio.



### La Raccolta e il Recupero del Vetro in Italia (1998)

I dati attualmente disponibili, relativi ai quantitativi di vetro complessivamente riciclati in Italia, sono il risultato di elaborazioni e di proiezioni fatte sulla base delle informazioni a disposizione dell'ISTAT e del CO.RE.VE. Gli operatori del settore attendono che il sistema di monitoraggio e di contabilità dei rifiuti (così come previsto dal D.Ronchi) vada a regime per disporre di dati sicuramente molto più attendibili; ciò nonostante i dati sono comunque interessanti e danno comunque un'idea e un ordine di grandezza delle dimensioni del problema.

TAB. 3

**Raccolta** suddivisa per tipologie di vetro e fonti di provenienza del Rottame di Vetro

(valori espressi in tonnellate)	1998	1997
<b>Imballaggio</b>		
Raccolta differenziata Urbana (Campane, porta a porta,...)	<b>760.000</b>	700.000
Industria e Commercio	<b>50.000</b>	50.000
Totale Raccolta Nazionale	<b>810.000</b>	750.000
Importazioni	<b>30.000</b>	50.000
<b>Totale Vetro da imballaggio</b>	<b>840.000</b>	<b>800.000</b>
<b>Altre Tipologie di Vetro</b>		
Raccolta Nazionale	<b>230.000</b>	250.000
Importazioni	<b>70.000</b>	30.000
<b>Totale altre tipologie di Vetro</b>	<b>300.000</b>	<b>280.000</b>

TAB. 4

**Vetro Recuperato** (Vetro "Pronto al Forno": Vetro da Raccolta al netto degli scarti di trattamento)

(valori espressi in tonnellate)	1998	1997
Imballaggio	<b>760.000</b>	720.000
<b>Altre Tipologie di Vetro</b>	<b>290.000</b>	280.000

TAB. 5

**Vetro Riciclato**

(valori espressi in tonnellate)	1998	1997
Imballaggio	<b>740.000</b>	720.000
<b>Altre Tipologie di Vetro</b>	<b>280.000</b>	280.000
<b>Totale</b>	<b>1.020.000</b>	1.000.000

TAB. 6

#### Raccolta Differenziata in Italia (t.)

	1998	1997
Nord	<b>590.000</b>	555.000
Centro	<b>125.000</b>	111.000
Mezzogiorno	<b>45.000</b>	35.000
Italia	<b>760.000</b>	700.000

Come si vede il 78% del vetro viene raccolto al Nord, il 16% al Centro e solo il 6% al Sud; inoltre la resa pro-capite passa dai 23Kg/anno del Nord, agli 11 Kg/anno del Centro fino ai 2Kg/anno del Sud.

Queste differenze[4] si spiegano in parte con il diverso grado di avviamento della raccolta:

<b>NORD</b>	1 contenitore ogni 367 abitanti
<b>CENTRO</b>	1 contenitore ogni 368 abitanti
<b>SUD</b>	1 contenitore ogni 829 abitanti

e con i diversi livelli di produttività per ogni singolo contenitore :

<b>NORD</b>	586 Kg/Contenitore *mese
<b>CENTRO</b>	245 Kg/Contenitore * mese
<b>SUD</b>	226 Kg/Contenitore * mese

Queste informazioni sono state estrapolate dai dati pubblicati da FEDERAMBIENTE (1997)

L’art. 35 comma 1, lettera g) del D.lgs. 22/97 introduce il concetto di *Prevenzione*; vi si legge:

g) prevenzione: **riduzione**, in particolare attraverso lo sviluppo di prodotti e di tecnologie non inquinanti, della **quantità e della nocività per l’ambiente**:

- sia delle materie prime e delle sostanze utilizzate negli imballaggi e nei rifiuti di imballaggio,
  - sia degli imballaggi e rifiuti di imballaggio
- nella fase del processo di **produzione**, nonché in quella della commercializzazione, della distribuzione, dell'utilizzazione e della **gestione post-consumo**.

Gli obiettivi su riportati possono essere raggiunti nella fase di produzione attraverso corrette e razionali operazioni di riciclo, nonché attraverso continui perfezionamenti dei processi produttivi tesi all'alleggerimento dei manufatti realizzati a parità di prestazioni e utilizzazioni.

Relativamente al riciclo, il rottame di vetro può evidentemente essere reinserito nel ciclo di lavorazione del processo che lo ha generato praticamente all’infinito. Questo si traduce in benefici per l’ambiente in quanto consente:

- di abbassare i consumi energetici della produzione (il rottame fonde a temperature più basse di quelle richieste per la fusione della miscela di materie prime originali);
- di sostituire l’impiego di materie prime, evitando il prelievo dalle cave con vantaggi per l’ecologia, l’ambiente e la bilancia commerciale import-export del Paese;

- di ridurre l’inquinamento atmosferico derivante dai forni fusori, in quanto la fusione del rottame di vetro è un processo che non richiede le trasformazioni chimiche necessarie per ottenere vetro con la fusione da materie prime originarie. Il risultato è: riduzione quantitativa delle emissioni e miglioramento della loro qualità.

La gestione post-consumo dei manufatti obsoleti e degli imballaggi in particolare investe i seguenti fattori:

- 1) idonei sistemi di raccolta
- 2) valorizzazione dl vetro presente negli scarti di trattamento
- 3) separazione del vetro per colore
- 4) interventi sulla fase di trattamento

#### 1) Sistemi di raccolta

Una caratterizzazione merceologica del vetro raccolto selettivamente, mette in luce il progressivo peggioramento della qualità del rottame di vetro raccolto in modo differenziato. Gli operatori del settore individuano una delle cause nella progressiva attivazione di sistemi di raccolta differenziata del tipo multimateriale o porta a porta.

TAB. 7

#### **Analisi Merceologica (confronto tra i diversi sistemi di raccolta)**

% in peso	Campana Monomateriale	Campane Vetro e Metallo	Porta a Porta Vetro e Metallo
Vetro	98,25%	95,55%	90,1%
Totale non vetro di cui:	1,75 %	4,45%	9,9%
Metalli	0,6%	2,4%	3,6%
Rifiuti	1,0%	1,8%	5,1%
Ceramica	0,15%	0,25%	1,2%

Per comprendere gli effetti della raccolta del vetro in campane multimateriale, occorre esaminare i risultati della fase di selezionare del vetro secondario:

TAB. 8

**Scarti nella fase di selezione (analisi dei diversi sistemi di selezione)**

% in peso	Campana Monomateriale	Campane Vetro e Metallo	Porta a Porta Vetro e Metallo
Vetro "pronto al forno"	94,2%	88,0%	71,4%
Totale scarti nelle varie fasi, di cui:	5,8%	12,0%	28,6%
Scarto selezione metalli	0,9%	3,0%	5,0%
Scarto selezione rifiuti	1,9%	4,0%	9,2%
Scarti dalle macchine di separazione della ceramica	3,0%	5,0%	14,4%

Tab.9

**Composizione media degli scarti dopo la separazione**

% in peso	Presenza di vetro negli scarti
Scarti dalla separazione meccanica dei metalli	Dal 30 al 50%
Scarti dalla separazione dei rifiuti	50%
Scarti dalla macchina per la ceramica	90%

Se l'impianto viene alimentato con vetro proveniente dalla raccolta monomateriale effettuata con campane lo scarto medio è del 6% circa; tale scarto passa al 12 nel caso in cui nelle campane vengano conferite anche lattine, fino ad arrivare al 29% nel caso del porta a porta. I sistemi di separazione meccanica malgrado siano molto sofisticati, non sono mai totalmente selettivi. Da rilevare (vedi tab. 9) che nel caso del porta a porta, considerando le perdite dovute alla sola presenza della ceramica, si perde circa 1 carico su 5 di vetro portato al trattamento.

Il discorso è naturalmente speculare per tutte le altre categorie merceologiche interessate alle raccolte multimateriale assieme al vetro.

Il problema è che i costi della raccolta multimateriale sono di gran lunga più bassi rispetto ai sistemi di raccolta più selettivi. D'altra parte la legge parla sempre di raccolta e fissa gli obiettivi non del riciclo ma solo per la raccolta. In questo sistema si genera un circolo vizioso in cui le amministrazioni locali, pressate dalla necessità di aderire agli obiettivi che la normativa richiede e dalla esigenza di contenere i costi di tali adempimenti, finiscono per adottare indistintamente sistemi di raccolta multimateriale. Addirittura in molti casi si adottano sistemi di recupero tramite autocompattatori, che se da un lato aumentano il carico utile per singolo viaggio, dall'altro aumentano ancor di più il grado di entropia (mescolamento) tra le diverse categorie di materiali raccolti.

Quanto qui riportato rappresenta una delle tante anomalie ed imperfezioni che caratterizzano l'evoluzione dei sistemi di raccolta e selezione dei rifiuti, e che determinano il più volte citato paradosso che un rifiuto finisca in discarica dopo essere stato raccolto separatamente.

## 2) valorizzazione del vetro presente negli scarti di trattamento

Riprendendo quanto detto al punto 1, si vede che su circa 1.100.000 tonn. (vedi tab.3) di vetro raccolto in modo differenziato si rischia di dover scartare fino a 110.000 ton. Di

questi oltre 60.000 sono rappresentate da scarti per contaminazione da ceramica.

TAB. 10

### Composizione media scarti ceramica

Vetro	94,73 %
Ceramica e pietre	5,0%
Metalli magnetici	0,01%
Metalli amagnetici	0,04%
Sughero	0,05%
Plastica	0,06%
Carta	0,11%

Usualmente questi scarti – di per se inerti – potrebbero essere riciclati nell'edilizia, nella costruzione di strade ecc. Paradossalmente però questo non è possibile perché la normativa attuale D.M. 5.2.98 <sup>[4]</sup>, prevede in questo caso controlli più onerosi e complessi di quelli

necessari all'impiego dei rottami di vetro per la fabbricazione di contenitori per alimenti (analisi contenuto metalli pesanti, verifica e test di cessione ecc.). Le stesse difficoltà si avrebbero quindi qualora si immaginasse per questi materiali impieghi alternativi (come si dirà nel seguito); se però tali impieghi garantissero un ritorno economico di una certa consistenza, allora varrebbe la pena di affrontare gli ostacoli burocratici, ancorché tecnici, che si possono presentare, magari richiamandosi ai principi e ai criteri di *efficacia, efficienza, ed economicità* che, non senza qualche contraddizione intrinseca, lo stesso D.lgs. 22/97 raccomanda per le operazioni di gestione dei rifiuti di imballaggio .

## 3) Separazione del Vetro per colore

Il rottame di vetro generalmente disponibile è di colore misto.

In alcuni paesi europei si sono avviate con un certo successo campagne per la raccolta ed il conferimento differenziato per colore del vetro. Purtroppo in Italia il grado di sensibilizzazione e quindi di partecipazione della società civile a simili iniziative sono in media ben lontane dagli standard più avanzati del Nord-Europa.

Nel nostro Paese, a parte qualche isola felice, questa strada, al pari di tutte le soluzioni in materia di gestione di rifiuti che tendono ad un sempre maggiore coinvolgimento dei cittadini, non potrà essere percorsa per molto tempo ancora.

La produzione di vetro colorato è circa il 50% della produzione totale; inoltre non è possibile superare la sostituzione delle materie prime con rottame di vetro oltre il 30-35% nei casi più vantaggiosi. Ne deriva che per il raggiungimento degli standard minimi di riciclo bisogna trovare assolutamente impieghi alternativi alla fonderia.

#### 4) Interventi nella fase di trattamento

Nella Tab.11 sono riportate le specifiche merceologiche che consentono di definire il vetro non un rifiuto ma una *materia prima seconda* commercialmente "pronto al forno".

<b>TAB. 11</b>	Specifiche merceologiche Vetro pronto al forno D.M. 5.2.98	Capitolato per l'accettazione del vetro in vetreria
<b>Vetro</b>	99,858%	99,932%
<b>Metalli magnetici</b>	<0,002%	0,0005%
<b>Metalli amagnetici</b>	<0,01%	0,0015%
<b>Ceramica e porcellana</b>	<0,01%	0,008%
<b>Pietre</b>	<0,02%	0,008%
<b>Materiali organici</b>	<0,1%	0,05%

Risulta evidente come i dati di Tab.7 si siano estremamente lontani dal raggiungimento degli standard richiesti. Infatti partire da un materiale che ha circa l'1,2% di ceramica e l'8,7% di altre impurità significa, ad esempio, dover ridurre la presenza della ceramica di oltre 150 volte. Ciò evidentemente comporta investimenti in tecnologie di separazione e selezione assolutamente improponibili.

Un discorso a parte merita poi la problematica connessa alla presenza dei metalli pesanti e del piombo in particolare. Rispetto a questo metallo il D.Ronchi fissa, a partire dal 30 giugno 1999, limiti molto restrittivi, riducendo la concentrazione massima accettabile, per un rifiuto di imballaggio da avviare al riciclo, da 600 a 250 ppm. L'effetto più immediato di questa nuova imposizione è un'ulteriore riduzione delle capacità di riciclaggio in vetreria del rifiuto di imballaggio.

#### 5) Possibili soluzioni per incrementare il riuso

Una soluzione potrebbe essere quella di migliorare progressivamente i criteri e l'efficienza dei sistemi di raccolta alla fonte, e nel contempo individuare validi impieghi, alternativi alla fonderia, dei rottami raccolti, magari utilizzandoli così come giungono. Nelle pagine seguenti verranno esposti i risultati del lavoro di ricerca realizzato per l'implementazione di un procedimento di tipo chimico-industriale alternativo ai processi di remelting.

L'idea alla base del procedimento è la possibilità di estrarre dal vetro polverizzato, mediante l'azione di un idrossido alcalino, in soluzione acquosa, la silice, che è il principale

costituente del vetro. I prodotti finali del procedimento posto in essere sono una soluzione acquosa concentrata di silicato del metallo alcalino impiegato e un residuo solido (la parte di vetro che non si è solubilizzata) prevalentemente costituito da monosilicato di calcio e sodio. Si tratta di prodotti che per le proprie caratteristiche -come sarà opportunamente illustrato - possono trovare una idonea collocazione rispettivamente nel mercato del silicato di sodio e nel mercato degli abrasivi nonché nel settore dei trattamenti di depurazione delle acque.

Il processo messo a punto riesce a smaltire qualsiasi tipologia di vetro o mix di vetri a diversa composizione, e si mostra pure notevolmente tollerante rispetto alla presenza di sostanze estranee (plastica, carta, sughero, gomma, ceramica ecc.).

La tipologia del trattamento sviluppato che comporta modesti investimenti è poi tale da potersi attuare in impianti di piccola potenzialità, asserviti a piccoli bacini di utenza (es. 50.000 ab.).

La tecnologia messa a punto si candida quindi ad intervenire in aiuto della tecnologia di smaltimento tradizionale ove questa o per ragioni tecniche (partite di vetro sporco o diverso per colore) o economiche (quantità di vetro insufficienti) non riesca a garantire uno smaltimento adeguato del materiale secondario; si ha così una valida alternativa tecnologica che permette di riparare al paradosso di un materiale smaltito in discarica dopo essere stato raccolto selettivamente.

## PARTE SPERIMENTALE

### 1. Introduzione

E’ stato rivendicato\* che, partendo da vetro finemente macinato, si può estrarre con buona resa, attraverso l’azione di una soluzione acquosa calda di un idrossido alcalino, la silice presente nel vetro stesso. In tal modo sarebbe possibile ottenere una soluzione ad elevata concentrazione in silicato e con rapporto silice/alcali che, entro certi limiti, può essere variato a piacimento.

Il processo può utilizzare senza difficoltà non solo partite di vetro di scarto di vario colore, il cui riciclo in fornace si sa essere problematico, ma anche partite contaminate da materiale diverso (porcellana, metalli, sughero, plastica ecc.) del tutto vietate al riciclo ed il cui prelievo viene addirittura remunerato (prezzo negativo).

Sulla base di queste osservazioni preliminari, si è operato secondo le seguenti direttrici fondamentali:

1) Ottimizzazione del processo di estrazione della silice dalla polvere di vetro ed in particolare dei parametri in gioco:

- Granulometria del vetro finemente macinato;
- Temperatura e pressione di reazione;
- Concentrazione dell’alcali (sodico) e rapporto liquido/solido ottimale;
- Ottimizzazione del liquore siliceo prodotto in funzione delle esigenze commerciali.

2) Caratterizzazione della polvere di vetro rimasta insoluta;

3) Possibili utilizzazioni della stessa.

\* F.Corigliano, L. Mavilia, V. Zappia, K. Archontis “Dom. Brev. Ital. N. 21164 A/87



## 2. PREPARAZIONE DEL MATERIALE DI PARTENZA

Si è operato su campioni di polvere di vetro a granulometria controllata, preparata a partire da rottami di vetro, di diversa provenienza (vetro cavo e piano) e colore, per macinazione in mulino a palle con giare in ceramica, alla velocità di 500 rpm, utilizzando come frantumatori palline di allubit. La successiva classificazione granulometrica è stata realizzata per mezzo di setacci a maglie in acciaio, utilizzando un apparato vibrante tipo octagon.

Le prove di estrazione sono state eseguite su frazioni di polvere di vetro a granulometria compresa tra 150 e 20  $\mu\text{m}$ ; nella fattispecie è stato testato il comportamento, relativamente a velocità e resa di reazione, delle seguenti frazioni granulometriche:

fraz. A:  $75\mu\text{m} \leq \text{polvere} \leq 150 \mu\text{m}$

fraz. B:  $40\mu\text{m} \leq \text{polvere} \leq 75 \mu\text{m}$

fraz. C:  $20 \mu\text{m} \leq \text{polvere} \leq 40 \mu\text{m}$

I test sono stati eseguiti preliminarmente su frazioni di polvere provenienti da partite di vetro di uguale colore e successivamente su miscele di polveri di vetro provenienti da partite di vetro a diverso colore, miscelate in proporzioni uguali a quelle che è ragionevole pensare possono trovarsi negli scarti e nei rottami di vetro.

Per la preparazione dei mix di polvere di vetro si è seguito il seguente criterio:

- a) La produzione di vetro colorato è circa il 50% del totale; però non si hanno dati relativi ai diversi colori;
- b) Poiché non vi sono ragioni per ritenere che il ciclo dei vita di manufatti – ed in particolare dei contenitori - in vetro sia diverso a seconda del colore, si è ritenuto che la composizione percentuale del rottame di vetro debba essere simile alla produzione.

Sono state preparate miscele di polvere di vetro così composte:

- Polvere di vetro Bianco: 50%
- Polvere di vetro verde: 25%
- Polvere di vetro giallo: 25%

### 3. PREPARAZIONE DELL'ESTRAENTE

Le aliquote di polvere di vetro sono state contattate con soluzioni acquose di soda caustica in un reattore a camicia in acciaio al nichel, termostato, aperto o chiuso, sotto costante agitazione, a pressione atmosferica e temperature fino a 105°C (reattore aperto) od a pressioni superiori a quella atmosferica fino a 140°C (reattore chiuso).

Il reagente è costituito da una soluzione acquosa 3-6 Molare di NaOH, ottenuta per diluizione con acqua deionizzata e decarbonata da soda satura, e successivamente standardizzata acidimetricamente. Il silicio passato in soluzione è stato determinato colorimetricamente allo spettrofotometro UV.

La concentrazione dell'alcali ed il volume della soluzione sono determinati in modo da disporre di un eccesso di alcali di almeno il 50% rispetto alle moli di silice presenti nel vetro di partenza.

#### 4. CONDUZIONE DELLE PROVE DI ESTRAZIONE

Il procedimento estrattivo viene condotto in uno o più stadi in un sistema di reazione del volume di circa 3000 ml. Il reattore è provvisto di un sistema di agitazione e di uno scarico per il recupero dei prodotti e sottoprodotti di reazione. La reazione è bloccata dopo 3 ore.

Trascorso il tempo di reazione predeterminato è stata bloccata l'agitazione e separata la fase liquida dalla polvere di vetro residua, e quest'ultima lavata in due steps successivi: nel primo con una soluzione diluita (max 0,5 N) calda di NaOH, successivamente con acqua deionizzata.

Si ottiene così:

- una fase liquida costituita da una soluzione acquosa di silicato di sodio;
- una seconda fase liquida, proveniente dalle operazioni di lavaggio della polvere di vetro residua, anche questa composta da una soluzione acquosa di silicato di sodio, anche se evidentemente più diluita;
- una fase solida in polvere, residuo delle operazioni di attacco alcalino che è stata caratterizzata, previa classificazione in due frazioni granulometriche per sedimentazione selettiva, mediante microsonda EDS, microscopia elettronica a scansione (SEM), e diffrazione ai Raggi X, e sottoposta ad un nuovo processo estrattivo, sia prima che dopo la classificazione; in quest'ultimo caso solo la frazione più grossolana è stata sottoposta ad ulteriore estrazione.

I rendimenti di reazione sono stati considerati in base al rapporto percentuale tra il peso in grammi di  $\text{SiO}_2$  passata in soluzione e la quantità di polvere inizialmente messa a reagire. Conseguentemente, considerata la composizione chimica del vetro, il limite teorico massimo del rendimento del processo di estrazione, è del 72%.

*Composizione chimica media della polvere di vetro considerata*

---

$\text{SiO}_2$  72% -  $\text{Na}_2\text{O}$  14% -  $\text{CaO}$  11% -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% - Coloranti e altri 1%

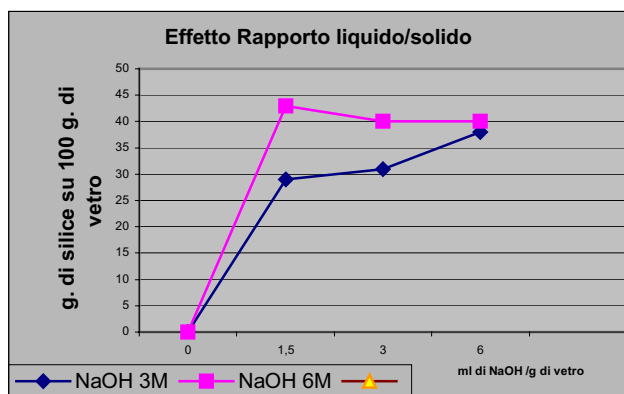
---

## Risultati e discussione

### 1. Fase Estraeante

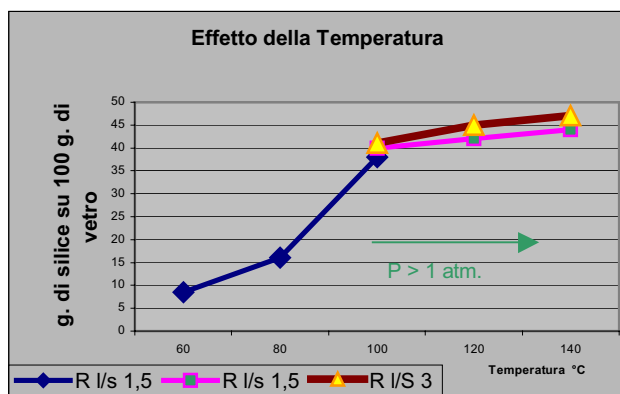
I parametri studiati: concentrazione dell'alcali usato, rapporto liq./solido [ml di soluzione su grammi di polvere di vetro] e temperatura influenzano i rendimenti di reazione nel modo seguente:

Fig.1: Rendimenti di reazione a diverse concentrazioni di NaOH



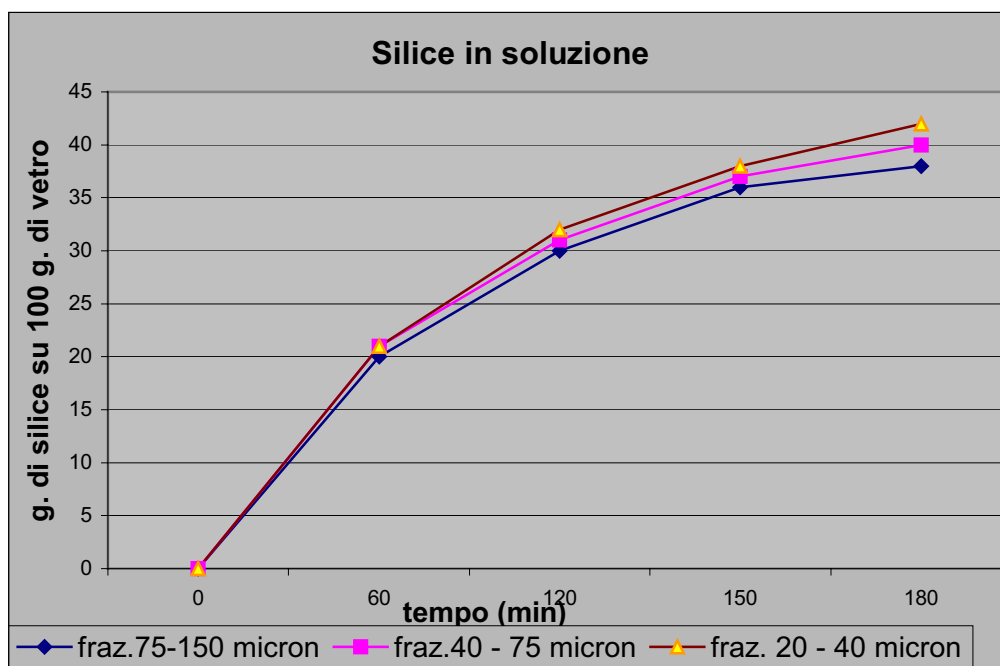
T=100 °C; P= 1 atm; t= 3 ore; vetro = 75µm - 150 µm

Fig. 2: Rendimenti di reazione a diverse temperature



t=3 ore; NaOH 6M; vetro = 75µm - 150 µm

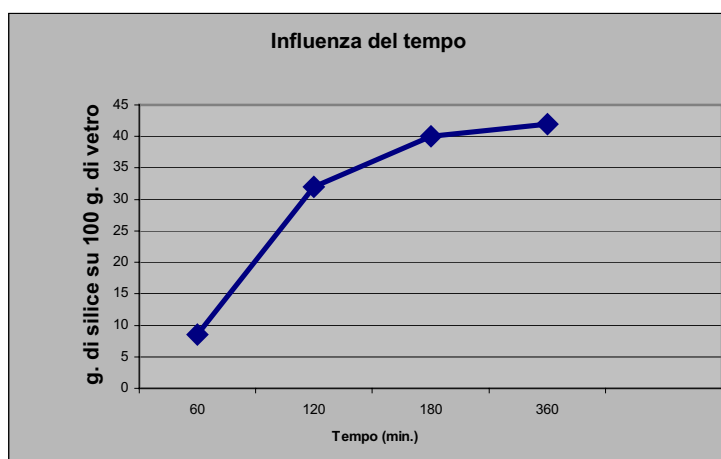
Dagli andamenti riportati nei grafici si evince che i risultati migliori, in termini di massima resa nell'estrazione della silice dal vetro di scarto col minore dispendio di energia e di reagenti, si ottengono con **NaOH 6M** a partire da **rapporti liquido/solido maggiori o uguali a 1,5**. Relativamente alle condizioni di reazione, i miglioramenti ottenibili a temperature superiori ai 100°C non sembrano tali da giustificare le complicità connesse al raggiungimento e mantenimento di pressioni superiori a quella atmosferica. I rendimenti e le velocità di reazione per le tre frazioni granulometriche individuate in precedenza, rispetto al procedimento descritto, nelle condizioni di reazione individuate alla **massima temperatura ottenibile a pressione atmosferica** (circa 106°C), sono i seguenti:



**Fig.3** Rendimento e Velocità di reazione nel processo di estrazione della Silice

NaOH = 6M; - R l/s = 1,5; - t=180 min; - T≈ 106°C.

Dai dati e dall'andamento di reazione riportato nel grafico precedente si vede come il rendimento del processo di estrazione tenda asintoticamente al valore limite del 40-45%, così come confermano i risultati di prove fatte durare più a lungo (fig. 4), anche se tale valore limite si raggiunge più rapidamente con frazioni di materiale progressivamente più fini.



**Fig.4** Effetto del tempo di contatto sulla resa di estrazione: T=100°C; P= 1atm; NaOH =6M; l/s =1,5

Volendo valutare come si pone tale limite rispetto al limite teorico del 72% di silice estraibile, occorre osservare che una frazione di silice equivalente all'ossido di

calcio presente nel vetro (11-12%) non potrà essere estratta perchè il silicato di calcio corrispondente è insolubile. La percentuale limite estraibile scende pertanto al 60% circa e quindi ci dovrebbe essere un margine di intervento per un'ulteriore estrazione di prodotto dalla polvere di vetro residua.

## 2. Caratterizzazione della polvere residua

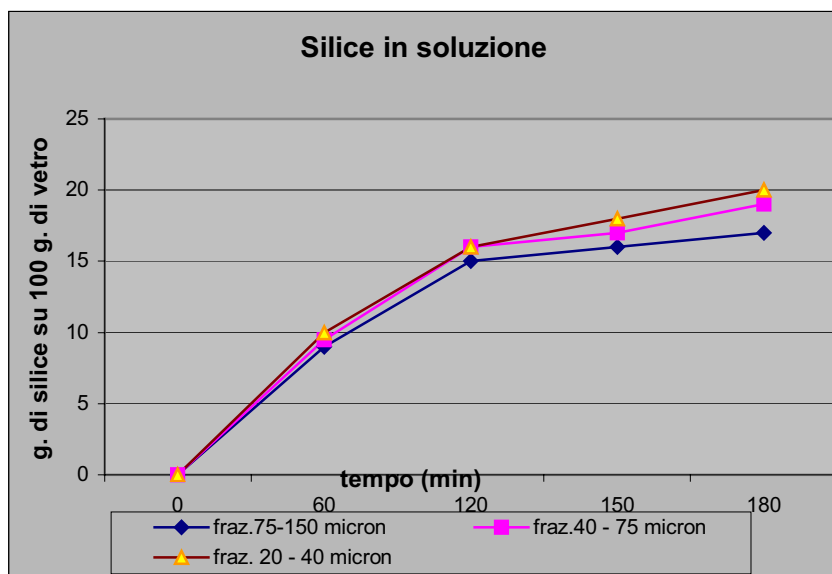
**La polvere di vetro che rimane insoluta ha mostrato essere un materiale molto interessante:**

- Innanzitutto, sottoponendola (dopo averla lavata e separata dalla soluzione di alcali che la impregna) ad un nuovo trattamento identico al precedente, è possibile estrarre altra silice precedentemente non passata in soluzione.
- In secondo luogo, per contatto con soluzioni acquose di metalli pesanti e con acque di scarico in particolare ha mostrato notevoli capacità adsorbenti e di ritenzione degli ioni metallici.
- Infine sottoposta ad indagine morfologica mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e diffrattometria ai raggi X (DRX), nonché ad analisi con microsonda EDS ha mostrato interessanti modificazioni avvenute sia a livello superficiale che strutturale ha permesso di chiarire il tipo di meccanismo di estrazione operante.

### 2.1 Secondo trattamento estrattivo con alcali fresco

**E' stato effettuato un secondo trattamento, simile al primo, sui residui della prima estrazione. I risultati, riassunti in fig.5, sono ovviamente da correlare, alle singole frazioni di vetro sottoposte alla prima estrazione. Si osserva un rendimento complessivo, conseguente a due processi estrattivi in successione, che si attesta tra il 48% e il 53%, cioè circa l'85 % di quanto è ragionevolmente estraibile.**

**Questo dato può essere già considerato come un soddisfacente punto di arrivo nell'ottimizzazione dei parametri e delle condizioni operative che si vuole ottenere, ma il successivo lavoro di caratterizzazione della polvere residua, nel mentre ha permesso di capire meglio i meccanismi chimico-fisici che governano il processo di estrazione, ha chiarito, come si vedrà, il modo in cui è possibile ottenere risultati migliori.**



NaOH = 6M; - R l/s = 1,5; - t=180 min; - T≈ 106°C.

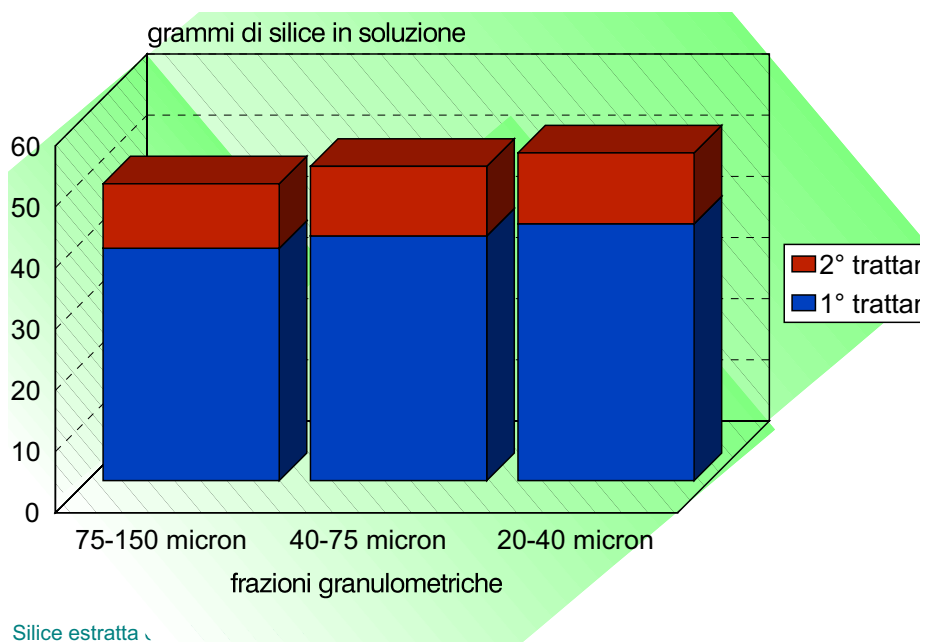


Fig.5 Rendimento e Velocità di reazione nel secondo processo di estrazione della Silice dalle polveri residue

Sulla base dei risultati ottenuti si ottengono delle soluzioni (liquori) di silicato di sodio di composizione da  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4$  ad  $\text{Na}_3\text{HSiO}_4$  delle quali è possibile un impiego commerciale sia tal quali che previa correzione, a seconda dell'impiego cui si intende destinarle. La correzione di tali liquori potrà consistere nella variazione della concentrazione e, soprattutto, del rapporto  $\text{SiO}_2/\text{NaOH}$ .

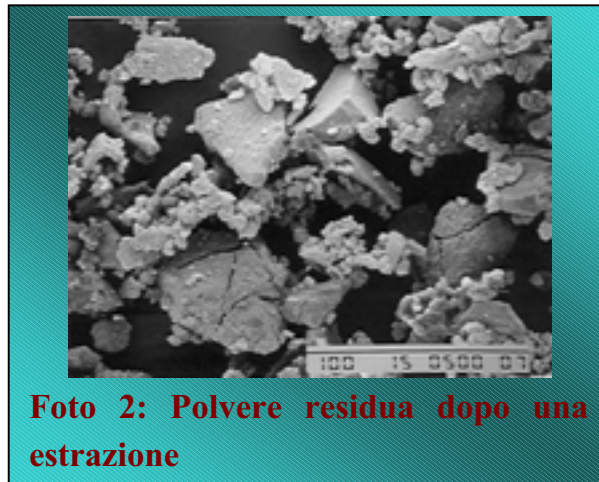
P=1 atm, NaOH 6M, T=100°C; P= 1atm; NaOH =6M; l/s =1,5

<b>RENDIMENTI FINALI di reazione</b>	<b>Grammi di Silice Per litro</b>	<b>Moli di <math>\text{SiO}_2</math> Per litro</b>	<b><math>\text{SiO}_2/\text{NaOH}</math></b>
<b>RESA = 38%</b>	253	4,16	0,54
<b>Resa = 40%</b>	266	4,38	0,57
<b>Resa = 45%</b>	300	4,93	0,64
<b>Resa = 50%</b>	333	5,48	0,71



## 2.2 Analisi Morfologica

La polvere di Vetro residua è stata sottoposta ad analisi morfologica al SEM; nel seguito si riportano in successione le immagini più significative, corredate, quando occorre dalle analisi elementari con microsonda EDS e da diffrattogrammi ai raggi X.

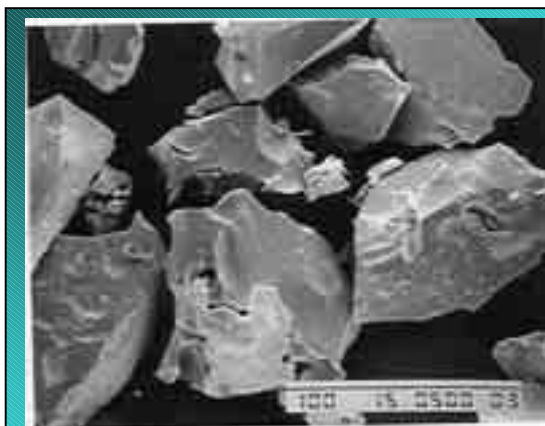


La polvere residua, proveniente da un solo processo estrattivo, si presenta disomogenea (foto 2):

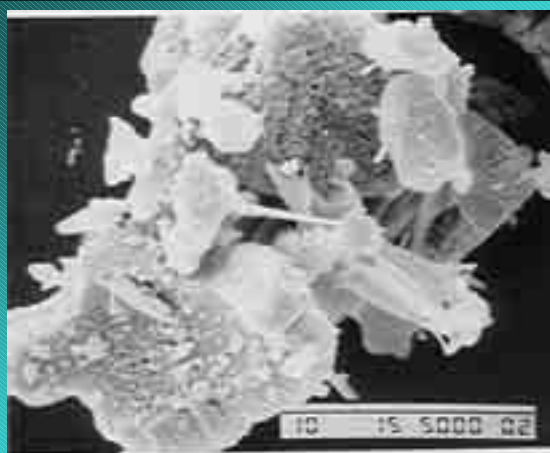
- a) le singole particelle si differenziano per dimensioni, struttura superficiale e composizione chimica;
  - b) la loro caratterizzazione, mediante diffrattometria ai raggi X, mostra una struttura completamente amorfa, come per la polvere di vetro di partenza, per le particelle lisce di grandi dimensioni, mentre, per quelle di piccole dimensioni di conformazione porosa (foto 1) mostra la comparsa di microstrutture cristalline (foto8) sulla matrice prevalentemente vetrosa (amorfa) (fig 5 -6);
  - c) alcune particelle mostrano delle fessurazioni (foto 2); in alcuni casi si evidenzia addirittura la comparsa di uno strato esterno (poroso e quasi spugnoso) (foto 4 e 7) che ricopre un cuore completamente liscio (vetro ancora intatto ?).
- Gli stessi esami sono stati poi ripetuti sulle due frazioni a diversa granulometria separate per decantazione selettiva da uno slurry acquoso della polvere residua
    - a) le particelle più grandi, stratificate al fondo, hanno prevalentemente superficie liscia ed una struttura decisamente amorfa (foto 7, fig.9) e, più di rado, particelle a superficie spugnosa e lesionata (come nella foto 2), ovvero (foto 3,4) particelle di questo tipo nelle quali lo strato spugnoso superficiale si è staccato parzialmente scoprendo la parte interna del tutto liscia.



b) viceversa le particelle a minore granulometria, hanno un aspetto macroporoso, spugnoso ed amorfo (vedi immagine al SEM ad elevato ingrandimento della foto 8) con formazioni cristalline superficiali di morfologia aghiforme, fig. 10).



**Foto 7**



**Foto 8**

I dati sulla composizione chimica delle due frazioni (ottenuti con la microsonda EDS con riferimento alla composizione di vetro prima della estrazione) evidenziano (tab.2) un netto calo delle concentrazioni di sodio e silicio ed un altrettanto netto incremento della concentrazione del calcio rispetto al vetro di partenza (Tab. 1) nella frazione fine e spugnosa. Nella frazione grossa, la composizione chimica (Tab.3) risulta pressochè identica, nei limiti dell'errore sperimentale, a quella del vetro originario (Tab.1).

Composizione Vetro tal quale	Composizione fraz. fine	Composizione fraz. grossa
Na 10,5 %	Na 3,9 %	Na 9,7 %
Mg 0,4 %	Mg 0,2 %	Mg 0,4 %
Al 1,1%	Al 0,7%	Al 3,6%
Si 33,8%	Si 25,9%	Si 33,0%
Ca 7,7%	Ca 26,9%	Ca 6,3%
O 46,5%	O 42,4%	O 47,0%
Tabella.1	Tabella.2	Tabella.3

Da questi dati si desume che esiste un evidente legame tra la estrazione di silice, anzi di silicato di sodio, dal vetro e la formazione di strutture porose, praticamente costituite da silicato di calcio (tab.2) nel residuo. Tale correlazione è abbastanza ovvia e conforme a quanto ci attendevamo. Resta invece da spiegare la presenza, nella frazione grossa, di particelle lisce, più grandi, simili al vetro, che pare non abbiano reagito, e nella frazione fine porosa e amorfa di silicato di calcio e di cristalli aghiformi. La spiegazione della presenza di particelle che non hanno ancora reagito, a nostro avviso, si ha osservando le foto 2, 3, 4, e 7. Nella prima si osservano due particelle grandi superficialmente assai porose, ma con evidenti e profonde lesioni. Nelle foto 3 e 4 si osserva quello che appare lo stadio successivo: il distacco di un pezzo di strato superficiale, in corrispondenza (ed in conseguenza) delle lesioni, che scopre l'interno liscio della particella che non ha ancora reagito. La foto 7 mostra un ulteriore stadio dello stesso fenomeno: il "cuore" liscio della particella si è liberato della crosta superficiale erosa, tranne un pezzo rimasto ancora attaccato. Quanto ai cristalli aghiformi, dei

Composizione fraz. aghiforme	
Na	9,7 %
Mg	0,4 %
Al	3,6%
Si	33,0%
Ca	6,3%
O	47,0%
Tabella.4	

quali la microsonda EDS dà la composizione riportata in tab 4, essi appaiono essere costituiti da un silicato insolubile di sodio e calcio formatosi all'interfase fra residuo e soluzione.

Da questi dati e dai precedenti si può comprendere il meccanismo di reazione:

l'attacco inizia sulla superficie delle particelle, com'è logico, estrae silicato di sodio e lascia il silicato di calcio; successivamente, quando è stato attaccato uno spesso strato superficiale, questo si lesiona e poi si stacca, lasciando scoperto il corpo sottostante della particella di vetro. Nel frattempo la concentrazione di alcali libero è fortemente diminuita, per cui l'ulteriore attacco procede più lentamente sino a fermarsi del tutto. Così la superficie scoperta dal distacco delle croste erose rimane liscia. Questo spiega la presenza di particelle ancora intatte, altrimenti non sarebbe possibile spiegare perché alcune particelle subiscano l'attacco ed altre no. Evidentemente le particelle con superficie erosa e fessurata (foto 2) e/o con superficie liscia emergente (foto3) dal distacco di parte dello strato superficiale eroso (foto 4 e 7) sono quelle per cui il meccanismo era in atto al momento in cui la reazione è stata interrotta.

Tutto ciò suggerisce una via per migliorare il processo di estrazione: alla fine del primo stadio operare una classificazione granulometrica della polvere residua ed eseguire il secondo trattamento solo sulla frazione più grossa. Ciò è stato sperimentato ed effettivamente si è verificato che le prove di estrazione eseguite su questa frazione danno rendimenti prossimi a quelli della polvere di vetro di partenza e rendimento complessivo prossimo alla percentuale limite del 60 %.

### 2.3 Proprietà adsorbenti del residuo in estratto

La polvere di vetro si mostra in grado di adsorbire, per contatto, ioni di soluzioni acquose di sali di metalli pesanti. A titolo di esempio si riportano i rendimenti di test di caricamento eseguiti contattando soluzioni di concentrazione  $[Cu^{++}] = 250 \text{ mg/lit}$ , in ragione di un rapporto solido/soluzione pari a **3g/litro**. Il caricamento è stato eseguito in matracci da 500 ml sotto agitazione per 15 minuti, al termine dei quali l'eventuale rame rimasto in soluzione è stato misurato.

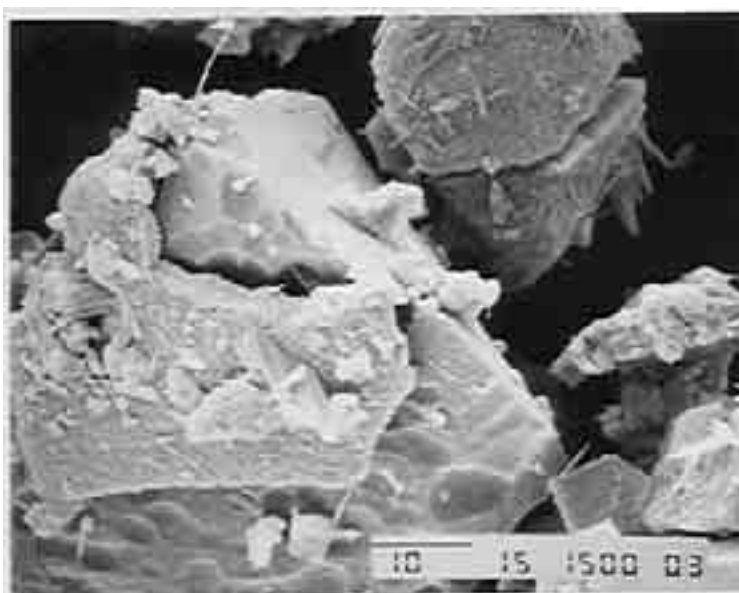
I risultati possono essere così riassunti:

Polvere:

1,5g 75-40 $\mu$ m.	Cu residuo: assente
1,5g 75-40 $\mu$ m fraz, fine	Cu residuo: assente
1,5g 75-40 $\mu$ m fraz. grossa	Cu residuo: 120 ppm

1,5g 150-75 $\mu$ .	Cu residuo: assente
1,5g 150-75 $\mu$ m fraz. fine	Cu residuo: assente
1,5g 150-75 $\mu$ m fraz.grossa	Cu residuo: 170 ppm

Dai dati si desume che, in realtà, solo la frazione fine, della polvere di vetro residua ha proprietà adsorbenti. Le lievi capacità di ritenzione della frazione grossa sono da imputare alle particelle dalle quali la crosta silicio-calcica macroporosa non si è ancora staccata al momento del bloccaggio della reazione di estrazione e che quindi presentano limitate zone superficiali con capacità adsorbenti (foto 11).



**Foto 11:** Particolare di particelle della frazione grossa. Si nota una superficie per la

Un'altra ragione può essere la non sempre perfetta separazione delle due frazioni granulometriche.

Sottoposta a test di cessione, secondo le metodiche ufficiali, la polvere ha mostrato di ritenere in modo ottimale il metallo adsorbito, verosimilmente sotto forma di silicato e/o idrossido del metallo pesante.

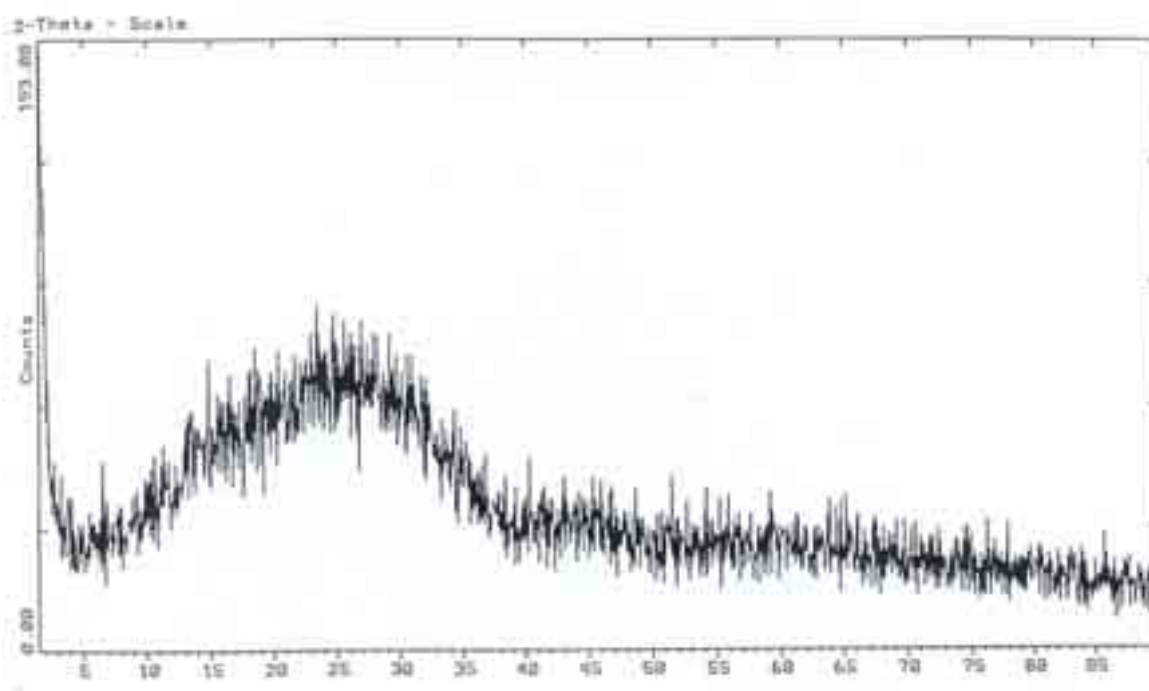


Fig.5

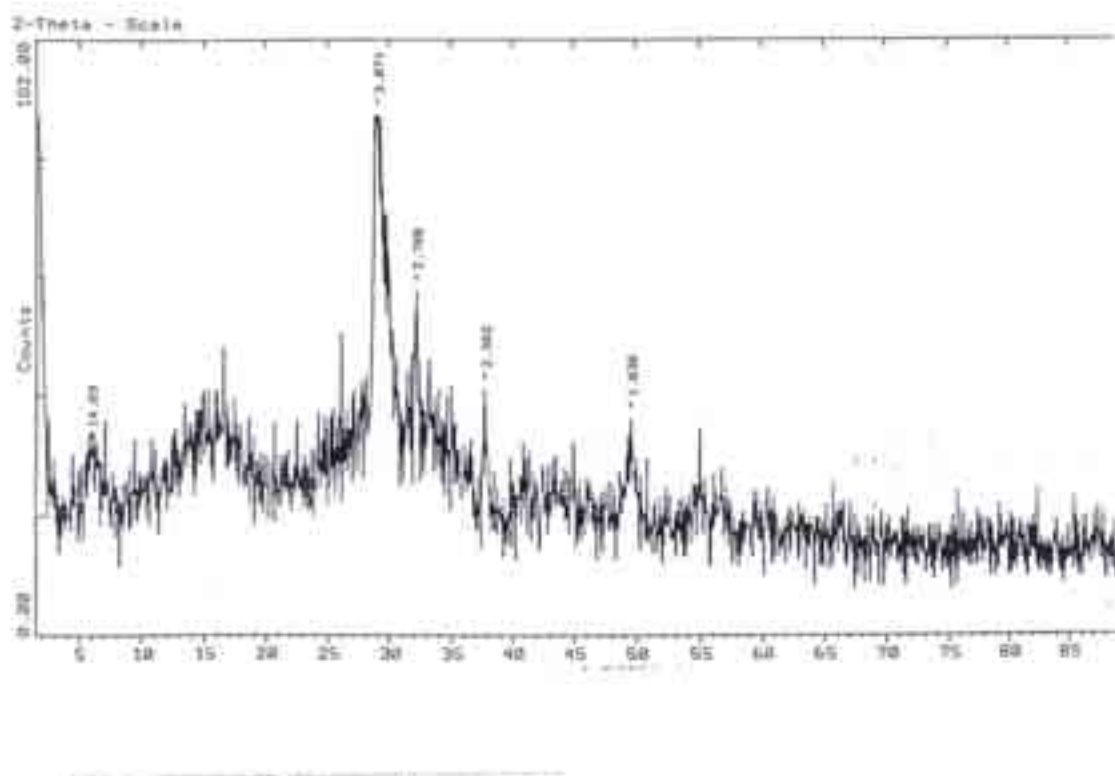


Fig.6



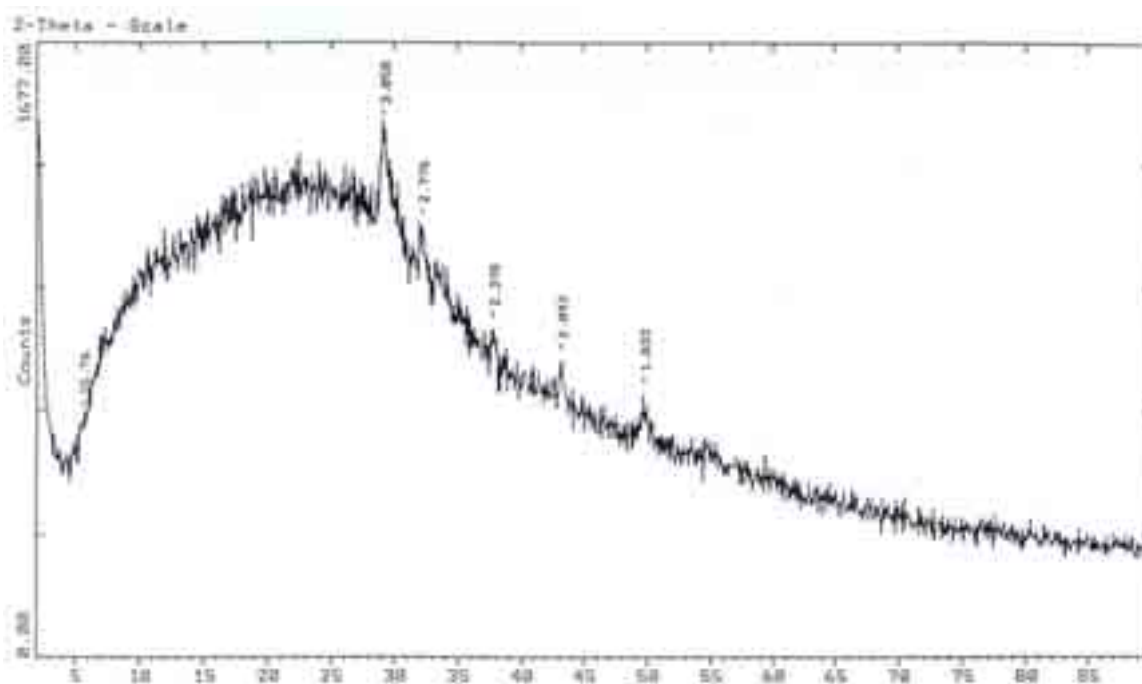


Fig.9

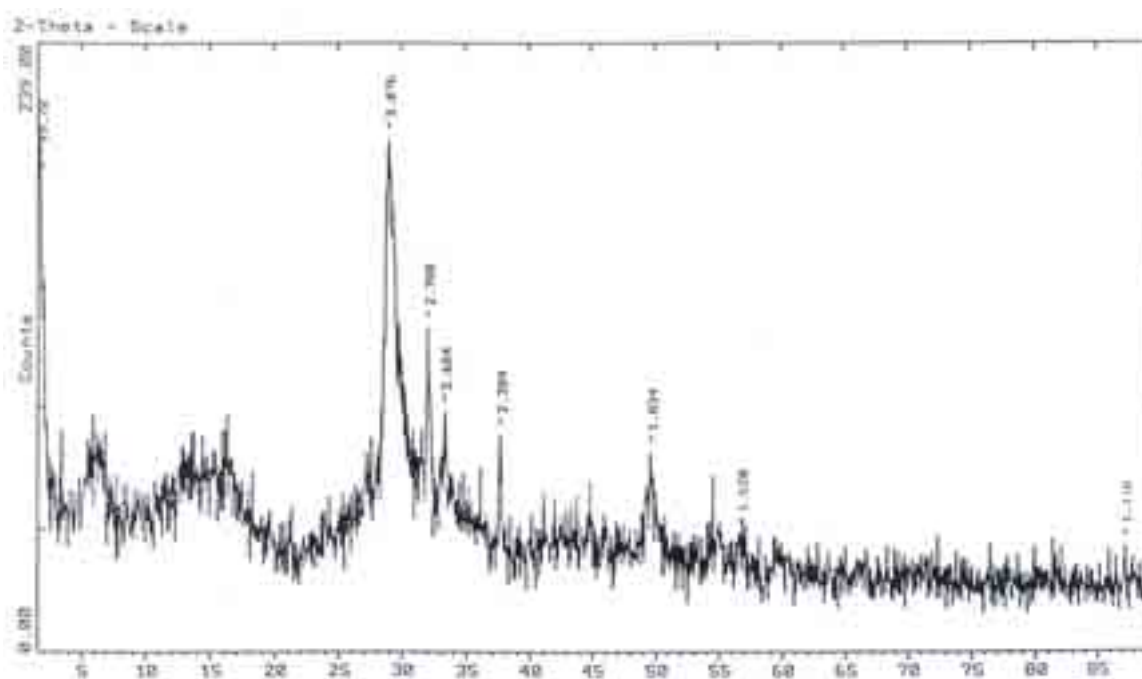


Fig.10

## **PARTE III**

### **TRATTAMENTO DELL’ ALLUMINIO SECONDARIO ALTERNATIVO AL RICICLO CONVENZIONALE**

## **Merceologia dell'Alluminio**

L'alluminio è, dopo l'ossigeno ed il silicio, il terzo elemento in ordine di abbondanza sulla terra, ma è di gran lunga il più giovane tra i metalli di uso industriale, essendo stato prodotto per la prima volta su scala industriale solo poco più di 100 anni fa.

Il primo a separare l'alluminio dal suo ossido (l'allumina) fu Sir Humphry Davy nel 1807, sebbene solo nella forma di una lega Al-Fe; fu comunque lui a dare il nome al metallo. Nel 1825 il fisico danese Hans Christian Oersted produsse per primo alluminio metallico, ed il 22 ottobre 1827 Friedrich Wohler, per primo in Germania, riuscì a produrre alluminio anche se in piccola quantità.

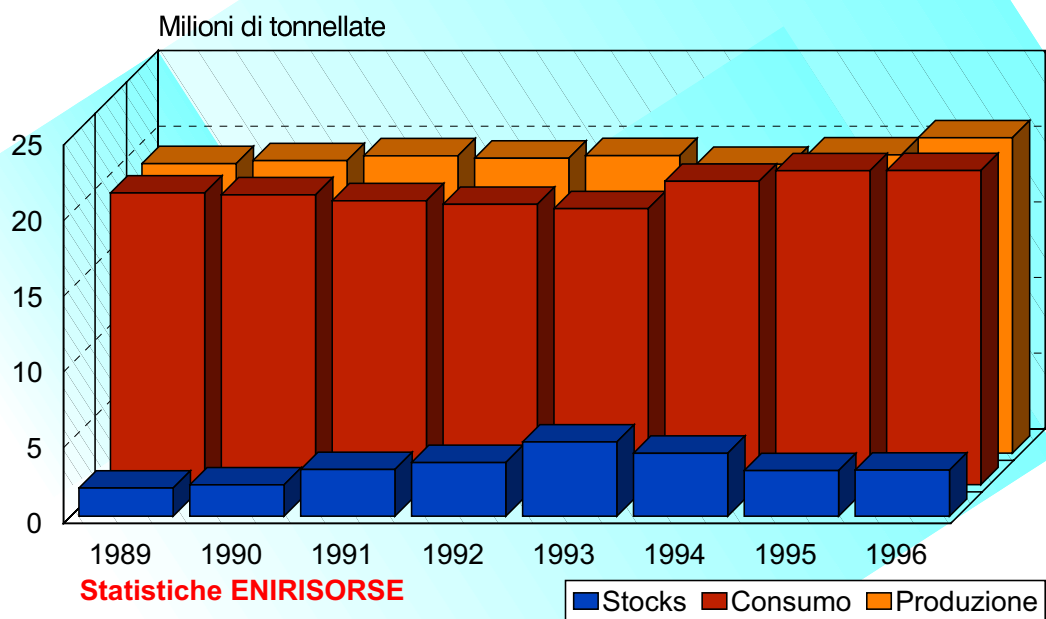
Nel 1885 un francese, Henry St. Claire Deville, sviluppando il lavoro dello scienziato tedesco, utilizzò un complesso metodo termo-chimico per produrre piccole quantità di alluminio metallico. Il nuovo strano metallo fu oggetto di una breve fortuna in gioielleria e nella posateria. Ad esempio l'Imperatore Napoleone III usava posate in alluminio con gli ospiti di riguardo, mentre Re Cristiano X di Danimarca indossava una corona fatta di alluminio. Sebbene il suo prezzo si riducesse considerevolmente nei 30 anni successivi, esso restava sempre troppo caro per impieghi commerciali.

La svolta avvenne nel 1886 quando indipendentemente Paul-Toussant Hèroult in Francia, e Charles Martin Hall negli Stati Uniti, depositarono i loro brevetti sul processo di fusione elettrolitica per la produzione di alluminio metallico ottenuto dall'allumina. Subito dopo, il Dr. Carl Josef Bayer in Austria, brevettò la sua tecnica per trasformare la bauxite in allumina. La parola BAUXITE deriva dal nome (LES BAUX) della località posta nel versante francese dei Pirenei, ove fu identificata la prima volta nel 1821. Furono così poste le basi dei metodi industriali per la produzione di alluminio.

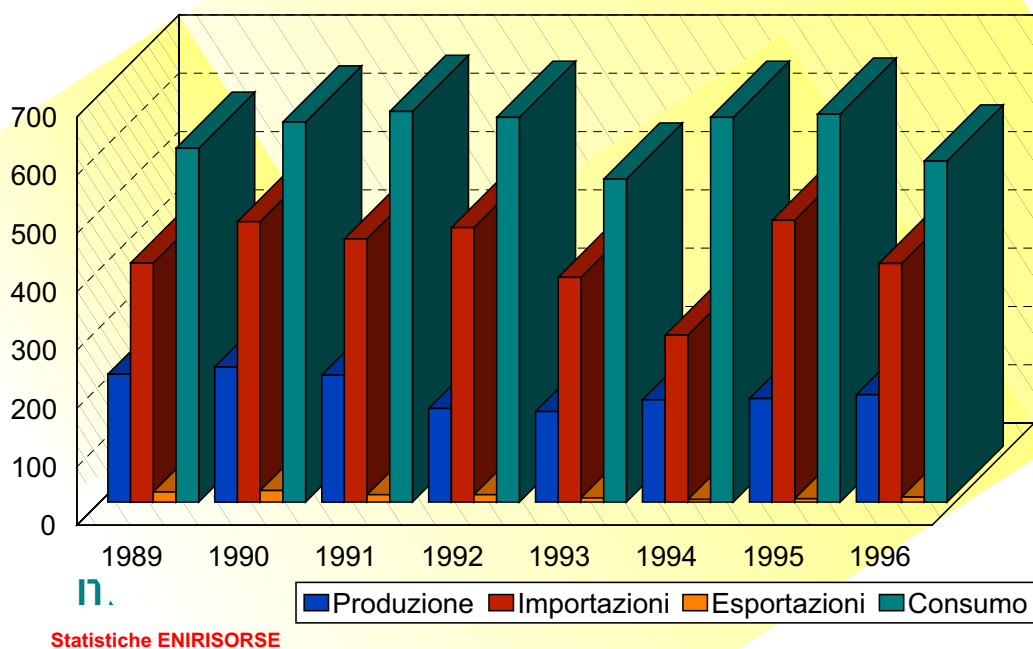
In meno di un secolo l'alluminio si è imposto in tantissimi settori produttivi, ed oggi, tra i metalli, è secondo come importanza solo all'acciaio. La fase di crescita più rapida dell'alluminio risale al periodo intorno al 1950-60, cui ha fatto seguito un rallentamento nei tassi di sviluppo della domanda negli anni '70, sia per ragioni cicliche sia perchè l'industria stava raggiungendo lo stadio di maturità.

Per il futuro, nella competizione con gli altri materiali, è indubbio che il metallo giocherà un ruolo importante per la sua caratteristica specifica di puntare non solo sulla crescita quantitativa, ma anche sulla valorizzazione di leghe, prodotti, ed applicazioni a maggior valore aggiunto.



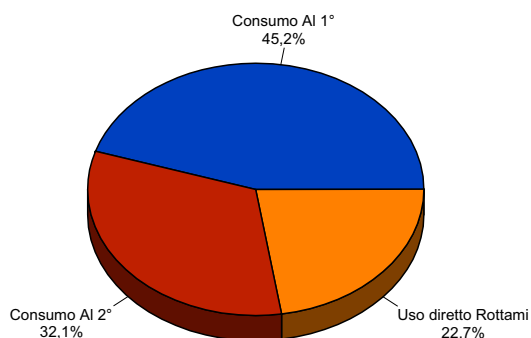


Situazione r.



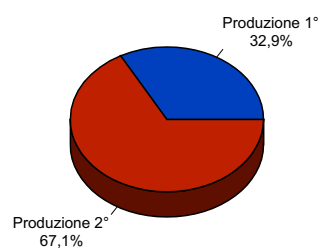
## alluminio in Italia 1996

### Consumo



Totale Consumi 1.289.000 tonn.

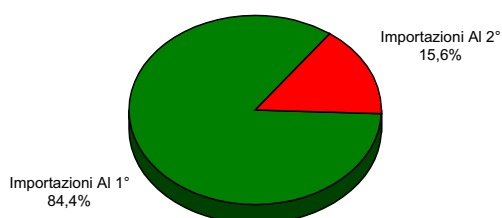
### Produzione



Totale Produzione 561.000 tonn.

## alluminio in Italia 1996

### Importazioni



Totale Import 489.400 tonn.

### Esportazioni



Totale Export 39.300 tonn.

**Tecnologie di produzione**

L'alluminio rappresenta l' 8 % circa della litosfera ed entra nella composizione di molte rocce. Tuttavia il minerale più importante è la bauxite, un miscuglio di minerali idrati come la boemite ( $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), diasporo ( $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), e gibbsite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). L'alluminio esiste in quantità potenzialmente sufficienti a durare tanto a lungo quanto l'umanità. Le riserve conosciute di bauxite, all'attuale tasso di consumo, da sole ci consentirebbero di andare avanti per tremila anni, e nuovi giacimenti vengono scoperti ad un ritmo doppio di quello di esaurimento. I giacimenti più importanti sono distribuiti sulle fasce tropicali e sub-tropicali del Globo. Attualmente i principali depositi si trovano in Australia, Giamaica, Guinea, Indonesia, Brasile, Cina, Russia; da questi paesi proviene l'80% della bauxite mondiale. In Europa importanti produttori sono la Francia, l'Ungheria, e la ex Jugoslavia, con una quota pari al 14% del totale.

A seconda del giacimento l'alluminio è presente nella bauxite sotto forma di ossido mono-idrato o tri-idrato. La bauxite si presenta indifferentemente in forma polverulenta, granulosa o rocciosa; di colore rosa, crema, rossa, bruna, gialla o grigia in funzione della propria composizione. la composizione media del minerale è la seguente:

tipo di bauxite	Composizione %					
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	CaO	altri
<b>giac. Weipa</b>	55	10	5	2,5	-	resto
<b>giac. Eleius</b>	51	30	2	2,5	2	resto

Non è conveniente, comunque, utilizzare bauxite con un contenuto di silice superiore al 7-8%. Ciò a causa delle forti perdite di alluminio che altrimenti si avrebbero durante il processo Bayer.

Sono in atto inoltre tentativi per mettere a punto processi economici per ottenere il metallo partendo anche da altre rocce più diffuse come la *leucite*, un metasilicato di alluminio e potassio  $(\text{KAlSiO}_2)_2$ , che abbonda pure in Italia. Bisogna comunque dir che allo stato non è lecito nutrire molte speranze in questo senso.

Il processo di estrazione dell'alluminio dal suo minerale naturale si compone di due fasi successive:

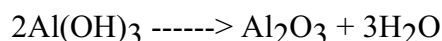
- una *chimica* che permette la produzione di allumina o ossido anidro di alluminio;
- una seconda *elettrolitica* in cui l'ossido si riduce a metallo.

- a volte si procede ad una terza fase di raffinazione qualora si voglia ottenere alluminio estremamente puro ( $\geq 99,99\%$ ).

Il processo Bayer consiste essenzialmente in un trattamento a circa 150-200°C con soluzione acquosa di soda caustica del minerale macinato. Così si porta in soluzione l'alluminio sotto forma di alluminato secondo la :



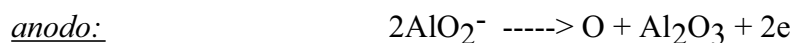
La silice forma con la soda caustica e con parte dell'allumina un silicato doppio di alluminio e sodio, insolubile ( $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}_2\text{O}$ ), assieme a ossido ferrico e ossido di titanio (i così detti *fanghi rossi*). L'ossido ferrico come tale è un componente sgradito perchè trascina alluminio nei fanghi. La soluzione filtrata di alluminato sodico viene depressurizzata, raffreddata e diluita con acqua. Per effetto di questa operazione parte dell'alluminio in soluzione precipita come idrossido, mentre la soluzione con l'alluminato rimastovi (da 1/3 a 1/2), viene riciclata. L'idrossido separato dalla soluzione, viene in parte essiccato (ottenendo il prodotto noto in commercio come allumina triidrata  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), e per la maggior parte calcinato in forni a 1200°C ottenendo l'ossido anidro, *allumina* :



In media per ogni tonnellata di allumina occorrono 2-3 tonnellate di bauxite, 40-120 Kg di soda caustica (anidra) ed un consumo energetico equivalente a 400-500 Kg di carbone.

L'elettrolisi dell'allumina viene realizzata mescolandola al 10% in un bagno di criolite fusa ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) con la quale l'allumina forma un eutettico il cui punto di fusione è 962°C, contro i 2050°C dell'allumina pura. Per abbassare ulteriormente il punto di fusione si possono aggiungere fluoruro di calcio o di magnesio. La criolite è inoltre fondamentale, nel processo elettrolitico, perchè essendo un solido ionico consente (allo stato fuso), la conduzione della corrente elettrica, cosa che l'allumina (molecola covalente) non potrebbe fare da sola. Comunque nel bagno elettrolitico il contenuto di allumina in genere non supera il 5-7%. Le celle di elettrolisi sono vasche rettangolari di grandi dimensioni costruite in acciaio e rivestite in materiali refrattari e carbone grafite, collegate in serie ad un generatore di corrente diretta.

Tra le possibili reazioni che avvengono le più probabili sono :



L'ossigeno che si svolge ossida il carbonio dell'anodo a CO<sub>2</sub> per circa il 70-90% e CO al 10-30%. Le celle lavorano con una tensione di 4,5-5,5 V. Il calcolo teorico del potenziale di cella è di circa 1,7 V (inteso come valore medio tra quelli calcolabili assumendo che si produca o solo O<sub>2</sub> o solo CO). L'eccesso di energia elettrica che così viene fornita si trasforma in calore per effetto Joule e serve a mantenere le celle alla temperatura di esercizio. La quantità di allumina necessaria a reintegrarne il consumo, viene aggiunta al forno a più riprese, (facendo attenzione che non scenda mai al di sotto dell'1%), mentre l'alluminio liquido depositato sul fondo, viene prelevato 1-2 volte al giorno. Il metallo puro al 99,99% così preparato viene utilizzato, dopo eventuale trattamento di alligazione, per la preparazione di leghe da fonderia primarie, per billette da estrusione e placche di laminazione. Billette e placche costituiscono i principali formati per le lavorazioni plastiche, e la loro produzione viene realizzata attraverso la tecnologia di base della colata semicontinua in acqua.

La colata semicontinua permette di solidificare l'alluminio fuso, in pani, placche, o billette. La colata continua è usata per trasformare l'alluminio in verghe che sono poi trasformate con un processo di trafilatura a freddo, in fili o in bande adatte ad essere laminate in nastri.

### **Proprietà e caratteristiche distintive dell’alluminio**

L'alluminio si distingue nettamente dagli altri materiali per un complesso di proprietà metallurgiche e tecnologiche:

- leggerezza; ad esempio una lamiera di 1m<sup>2</sup> e 1 mm di spessore pesa 2,7 kg se di alluminio, 7,8 kg se di acciaio e 8,8 kg se di rame.
- buona conducibilità elettrica; essa è pari al 60% di quella del rame, ma grazie alle differenti densità, 0,5 kg di alluminio hanno la stessa capacità conduttiva di 1 kg. di rame. In pratica, poichè la resistività specifica di un conduttore è inversamente proporzionale alla sezione, si ha che cavi di alluminio di sezione tale da uguagliare la resistenza di cavi in rame (ad esempio doppia) hanno un peso minore. L'alluminio si presta dunque alla realizzazione di grandi elettrodotti.
- buona resistenza meccanica; in lega con percentuali minoritarie di Mg, Mn, Si, Zn, Cu, Ni, Ti ecc.
- ottima resistenza agli agenti atmosferici.
- buona plasticità e formabilità.
- buona tenacità e resistenza meccanica anche a basse temperature.
- gradevole aspetto esterno: si presta a trattamenti superficiali come ossidazione anodica che la migliorano.
- buona conducibilità termica.
- inalterabilità al contatto con i cibi e sostanze liquide.

### **Principali impieghi**

L'alluminio è in grado di coprire un'amplessissima gamma di esigenze applicative e di prestazioni. L'edilizia è senza dubbio uno dei principali settori di impiego. E' usato essenzialmente per gli infissi, realizzati con sistemi di profilati in leghe della famiglia 6000 (vedi avanti). Inoltre, sono anche in alluminio: estrusi per pareti divisorie, cancelli, recinzioni, verande, ringhiere, serre, per l'edilizia prefabbricata; lamiere per coperture, pannellature composite di edifici industriali, laminati per soffittature, controsoffittature, veneziane, gronde e pluviali, laminati sagomati per sistemi a vetrocamera, profilati e getti per termosifoni, lamiere ed estrusi per pannelli solari, profilati per strutture autoportanti. Si tratta di un'incredibile diversificazione di prodotti e di applicazioni, possibili grazie alle caratteristiche di durabilità, valore estetico, semplicità di lavorazione, favorevole rapporto costo/prestazioni del manufatto. Altri tipi di impiego vedono l'alluminio coinvolto nei settori della segnaletica autostradale, ferroviaria, urbana, strutture stradali tipo guard-rails,

portali, attrezzature di illuminazione, cartellonistica, ponteggi, strutture reticolari. Un altro interessante settore è quello dei trasporti. Qui l'alluminio è scelto per la sua leggerezza e lunga durata, che significa minori consumi di carburante e maggior resistenza all'usura del veicolo. La grande maggioranza degli aerei oggi in circolazione ha una struttura costituita all'80% in peso da laminati, estrusi, forgiati, e getti di leghe di alluminio. L'industria del ciclo e del motociclo usa alluminio per leghe leggere da impiegare per cerchi di ruote. L'alluminio è l'unico in grado di competere con le ghise e gli acciai per la realizzazione di forgiati per corpi motore, pompe, pistoni, collettori, elementi strutturali come bielle, mozzi, estrusi per cornici, finiture per paraurti, sponde da camion, furgonature, containers, lamiere per elementi di carrozzeria e pannellature, laminati per radiatori e scambiatori di calore. L'alluminio è ancora presente nel campo della costruzione di veicoli su rotaia metropolitana e treni veloci. In questo settore i più recenti sviluppi tecnologici si riferiscono all'impiego di sistemi di estrusi di grosse dimensioni per la realizzazione, tramite operazioni semplificate di assemblaggio, di intere carrozze, caratterizzate da una riduzione in peso del 30-40% rispetto alle carrozze tradizionali. Interessante è anche il settore delle imbarcazioni; qui si usa alluminio principalmente per la realizzazione di sovrastrutture. Il comparto dell'imballaggio rappresenta una delle aree dove l'intensità di impiego dell'alluminio si è caratterizzata negli ultimi anni per i tassi di crescita estremamente alti. I principali vantaggi che offre l'alluminio sono: leggerezza, innocuità alimentare e neutralità al sapore, impermeabilità ai gas ed al vapor d'acqua, eccellente protezione contro luce e raggi UV, facilità di formatura, resistenza alla corrosione, ampia gamma di resistenza meccanica, ottima attitudine al recupero e riciclaggio. Tra i principali prodotti per imballaggio sono il foglio sottile, gli accoppiati flessibili per buste, sacchetti, blisters farmaceutici, coperchietti termosaldabili, vassoietti semirigidi e rigidi, tubetti flessibili per dentifrici, alimentari e prodotti farmaceutici, tappi per bottiglie, contenitori rigidi per alimenti, bidoni, bombole per aerosol, contenitori per bevande. Sono state menzionate per ultime, ma c'è da dire che le 'cans' statunitensi hanno fatto registrare negli ultimi anni i più alti tassi di sviluppo. Introdotte per la prima volta negli anni '60 hanno riscosso un'immediato successo di mercato. Sono resistenti, leggere, realizzabili con tecnologie semplici, presentano particolari attitudini al riciclaggio. I dati sono impressionanti: nei soli USA nel 1988 si sono prodotte 78 miliardi di lattine in alluminio.

Nel campo delle applicazioni elettriche l'alluminio entra in competizione con il rame. Attualmente con l'introduzione di nuove leghe leggere ad elevata conducibilità e migliorata resistenza meccanica (leghe serie 8000) la scelta tra i due conduttori è determinata solo dal

prezzo. Comunque, nei settori dei cavi nudi per trasporto e distribuzione di energia ha acquisito una netta predominanza di impiego.

L'alluminio trova anche impiego nei settori delle costruzioni meccaniche di macchine e nell'impiantistica: macchine per stampa, macchine per imballaggio, macchine tessili, macchine per ufficio ecc...

#### **Le leghe di alluminio**

L'alluminio completamente puro è impiegato molto raramente. Di norma esso è usato in lega con altri elementi, che ne esaltano di volta in volta determinate proprietà. Qualunque sia la lega, il contenuto di alluminio è comunque superiore al 90%.

Ad esempio le leghe con Mg e Mn sono particolarmente rigide e malleabili a seconda della composizione relativa. Le leghe con Mg e Si sono invece molto resistenti alla corrosione ed adatte alla costruzione di porte e finestre. Leghe con Cu, Zn esaltano la resistenza meccanica dell'alluminio, mentre Cr, Ti, Zr e V ne migliorano la compattezza.

Tipo e quantità degli elementi aggiunti, sia come alliganti che come correttivi o elementi di addizione, sono un primo criterio per il riconoscimento delle leghe. Un altro importante criterio è quello che distingue tra leghe da fonderia (usate per la produzione di getti), e leghe da trasformazione plastica (adatte per la laminazione, estrusione, fucinatura, trafilatura). Le possibili leghe, nonché i trattamenti termici o meccanici da esse subiti, vengono classificate secondo le normative internazionali. In Italia l'ente preposto è l'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione), attraverso UNIMET (vedi tabella 1).

#### Leghe da trasformazione plastica

Esistono diverse centinaia di leghe da lavorazione plastica, ed il loro riconoscimento, anche solo in termini di nomenclatura, non è semplice. Da qualche anno i principali paesi industrializzati hanno adottato il sistema digitale introdotto dall'americana Aluminum Association. Il sistema è costituito da otto serie numeriche di quattro cifre; la prima cifra indica il gruppo di appartenenza [ 1 Al Puro, 2 Al-rame, 3 Al-manganese, 4 Al-silicio, 5 Al-magnesio, 6 Al-magnesio-silicio, 7 Al-zinco, 8 tutte le altre ], la seconda cifra indica eventuali varianti alla composizione originale, le ultime due individuano la singola lega.

La maggior parte del volume di produzione degli estrusi è coperto da poche composizioni della serie di leghe detta Serie 6000. Si tratta di leghe Al-Mg-Si, che presentano doti di elevata trasformabilità ed elevata velocità di estrusione, buona conducibilità elettrica, discrete caratteristiche meccaniche, elevate doti di finitura superficiale, resistenza alla



corrosione, facile saldabilità. Si calcola che, ogni anno, diversi milioni di tonnellate di queste leghe assumano la forma di estrusi (anche complessi), per essere impiegati nei serramenti, per finiture di auto, strutture, barre per connessioni elettriche, scambiatori di calore, alberi per imbarcazioni, ecc... Durante gli ultimi 30 anni si è verificato crescente interesse per le leghe ternarie Al-Zn-Mg appartenenti alla serie 7000, applicate nei veicoli ferroviari, nelle strutture di forza e nelle strutture saldate in genere. Al gruppo delle leghe così dette dure, appartengono le serie 2000 (Al-Cu) e 7075, 7012 (Al-Zn-Mg-Cu). Sono leghe leggere che presentano elevati carichi di rottura e trovano uso principalmente in strutture aeronautiche; non sono molto resistenti alla corrosione, pertanto spesso sono fornite di uno strato di placcatura superficiale di Al purissimo o leghe particolari che presentino unitamente ad una buona resistenza generale alla corrosione, un comportamento anodico rispetto al materiale sottostante (protezione galvanica).

Le leghe di alluminio non suscettibili di indurimento per trattamento termico sono quelle della serie 5000 Al-Mg. In genere al crescere del tenore di Mg (al massimo 5%) aumentano le caratteristiche meccaniche e si riduce la trasformabilità plastica. Infatti i profilati estrusi della serie 5000 hanno forme in genere semplici. Queste leghe presentano eccellente saldabilità ed elevata resistenza alla corrosione. Trovano il loro caratteristico impiego come laminati. Tipici impieghi di queste leghe includono finiture decorative ed architettoniche, barattoli e recipienti similari, elettrodomestici, cartelli stradali, imbarcazioni e serbatoi criogenici. Sotto forma di laminati sono disponibili anche le leghe della serie 3000 Al-Mn. Presentano elevate doti di resistenza alla corrosione pari all'alluminio puro, e vengono ampiamente utilizzate nel settore dell'imballaggio, dell'impiantistica chimica, degli scambiatori di calore. Infine le leghe speciali (serie 8000) P-Al-Fe-Si sono impiegate nei settori dei conduttori elettrici.

#### Leghe da fonderia

Le leghe di alluminio da fonderia destinate alla fabbricazione di getti costituiscono da sole in Italia il 40% dei consumi totali. Una particolarità di queste leghe è che buona parte di esse è di origine secondaria, sono preparate cioè da metallo di rifusione. A queste leghe è richiesto in genere una buona capacità di prender forma per essere impiegate nel campo dei getti di uso non strutturale; esistono diverse famiglie di leghe, ciascuna caratterizzata da diverse proprietà di fonderia, diverse caratteristiche meccaniche e proprietà tecnologiche. Le principali sono 4: Leghe Al-Cu, Al-Cu-Si, Al-Si e Al-Mg. Le leghe Al-rame contengono il 4-5% di rame con Fe e Si come impurezze. Hanno buona resistenza

meccanica, buona duttilità, presentano buona resistenza alla temperatura e sono adatte per realizzare pistoni per motori e blocchi cilindri. Stesso impiego trovano le leghe Al-Cu-Si; rispetto a questo tipo di uso, le leghe con alto tenore in Si (>10%) presentano una ridotta dilatazione termica. Le leghe Al-Si sono impiegate particolarmente in quei casi in cui è richiesta buona colabilità, media resistenza meccanica e buona resistenza alla corrosione.

Tutte queste leghe ed anche quelle non menzionate possono quindi essere trovate in tutti quei materiali di alluminio con una funzione strutturale che, comunque, non richieda particolari doti meccaniche e che sono state realizzate per colata in stampi.

Principali leghe di Alluminio in commercio in Italia

Composizione percentuale e Tabelle UNI

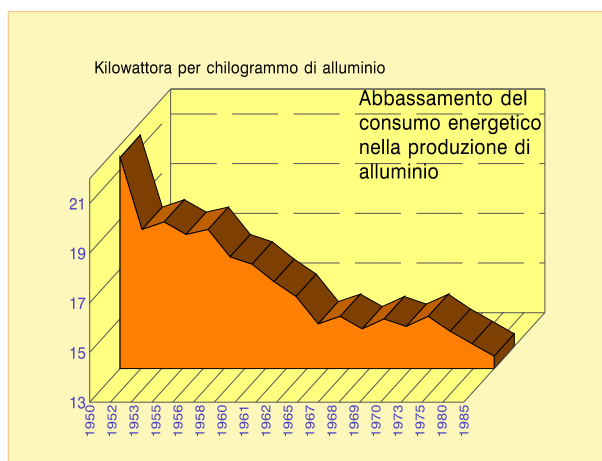
Leghe	UNI	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V	Ti	altri
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1000											
1050 A	9001/2	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	-	0.07	-	0.05	0.03
1070 A	9001/3	0.20	0.25	0.03	0.03	0.03	-	0.07	-	0.03	-
1080 A	9001/4	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	-	0.06	-	0.02	-
1200	9001/1	1.0Si+ Fe	-	0.05	0.05	-	-	0.10	-	0.05	0.15
2000											
2117	9002/1	0.80	0.7	2.2-3.0	0.20	0.20-0.50	0.10	0.25	-	-	0.15
2618 A	9002/6	0.1-0.25	0.9-1.3	1.9-2.7	-	1.3-1.8	-		0.10	0.04	0.15
2014	9002/3	0.50-1.2	0.7	3.9-5.0	0.4-1.2	0.2-0.8	0.10	0.25	-	0.15	0.15
2024	9002/4	0.50	0.50	3.8-4.9	0.3-0.9	1-1.8	0.10	0.25	0.05-0.15	0.02-0.1	0.15
2011	9002/5	0.4	0.7	5.0-6.0	-	-	-	0.30	-	-	0.15
3000											
3003	9003/1	0.6	0.7	0.05-0.20	1.0-1.15	-	-	0.10	-	-	0.15
3103	9003/3	0.50	0.7	0.10	0.9-1.15	0.30	0.10	0.20	-	-	0.15
3004	9003/2	0.30	0.7	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3	-	0.25	-	-	0.15
3105	9003/5	0.6	0.7	0.3	0.3-0.8	0.2-0.8	0.20	0.40	-	0.10	0.15
3005	9003/4	0.6	0.7	0.30	1.0-1.5	0.20-0.8	0.20	0.25	-	0.10	0.15
4000											
4032	9004/1	11.0 -13.5	1.0	0.5-1.3	-	0.8-1.3	0.10	0.5-1.3	-	-	0.15
5000											
5005	9005/1	0.30	0.7	0.20	0.20	0.5-1.1	0.10	-	-	-	0.15
5050	9005/7	0.40	0.7	0.20	0.10	1.1-1.8	0.10	-	-	-	0.15
5052	9005/2	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15	0.35	0.10	-	0.15
5182	-----	0.20	0.32	0.15	0.20-0.50	4.0-5.0	0.10	0.20	-	0.10	0.15
5086	9005/4	0.40	0.50	0.10	0.20-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	-	0.15	0.15
6000											
6101	9006/3	0.3-0.7	0.50	0.10	0.03	0.35-0.8	0.03	0.10	-	-	0.10
6005A	9006/6	0.5-0.9	0.35	0.30	0.50	0.40-0.7	0.30	0.20	-	0.10	0.15
6060	9006/1	0.3-0.6	0.1-0.3	0.10	0.10	0.35-0.6	0.05	0.15	-	0.10	0.15
6082	9006/4	0.7-1.3	0.50	0.10	0.40	0.6-1.2	0.25	0.20	-	0.10	0.15
7000											
7003	9007/5	0.30	0.35	0.20	0.30	0.50-1.0	0.20	5.0-6.5	-	0.20	0.15
7012	9007/3	0.15	0.25	0.8-1.2	0.08-0.15	1.8-2.2	0.04	5.7-6.7	-	0.04-0.08	0.15
7075	9007/2	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	-	0.20	0.15
8000											
8005	9008/1	0.2-0.50	0.40-0.8	0.05	-	0.05	-	0.05	-	0.05	0.15
8079	9008/2	0.05-0.30	0.7-1.3	0.05	-	-	-	0.10	-	-	0.15

## Raccolta dell'Alluminio Secondario

L'alluminio secondario, a differenza del primario che è preparato per via elettrolitica, è prodotto per rifusione a partire da diversi tipi di rottami derivanti dall'industria di lavorazione dell'alluminio: sfridi e scarti delle lavorazioni (costituenti il rottame nuovo); dai prodotti a base di alluminio obsoleti o che hanno terminato il ciclo vitale (rottame vecchio).

Il termine secondario non implica un concetto di qualità, ma solo di origine. In realtà, però, il grezzo secondario, provenendo oltretutto da leghe del tutto adatte alla produzione di semilavorati di alto livello qualitativo, anche da materiali caratterizzati da composizioni con tolleranze molto ampie, segue in larga misura la strada dell'industria della fonderia, ed in particolare della pressofusione.

I prodotti di alluminio possono essere fusi e riconvertiti in nuovi manufatti in alluminio più e più volte, senza che si abbia perdita nella qualità e prestazioni dei manufatti realizzati. Ciò naturalmente a condizione che si abbia a che fare con leghe di alluminio tra loro compatibili. Tale riconversione richiede solo il 5% dell'energia che sarebbe necessaria per produrre gli stessi oggetti partendo dal minerale Bauxite.



La spiegazione è strettamente connessa alla tecnologia ed al processo di produzione di alluminio primario nel quale lo stadio energeticamente più dispendioso è quello dell'elettrolisi ignea dell'allumina che, malgrado le ottimizzazioni di processo realizzate, necessita sempre di almeno 14 kWh

per kg di alluminio prodotto. Nella costruzione di manufatti a partire da alluminio di riciclo si by-passa proprio questo stadio con evidenti benefici sul piano dei consumi energetici.

Ogni chilogrammo di alluminio riciclato rappresenta una riduzione dei problemi ecologici a livello di rifiuti solidi e delle emissioni gassose prodotte dall'industria dell'alluminio primario.

**Storia del Riciclo dell'Alluminio**

La prima Industria di alluminio di riciclo è stata fondata nel 1904, negli Stati Uniti, praticamente appena 16 anni dopo la prima produzione commerciale di alluminio primario nel 1888. L'industria dell'alluminio riciclato usava scarti di lavorazione, e si chiamò "dell'alluminio *secondario* " per distinguerla dall'industria primaria che produceva alluminio vergine.

La crescita di questa industria fu inizialmente lenta, a causa della limitata disponibilità di materia da lavorare; questo sino agli anni '40.

Durante la Seconda Guerra Mondiale, infatti, fu usata una grande quantità di alluminio nella costruzione di aerei, rendendo perciò disponibili ingenti quantità di scarti. Inoltre non appena furono disponibili aerei da smantellare, l'industria del riciclo entrò nel suo periodo di crescita. Furono sviluppate nuove tecnologie per lavorare le nuove quantità e qualità di scarti di alluminio disponibili.

Durante i primi 40 anni di commercializzazione di alluminio secondario (1913-1953) ci sono state grosse fluttuazioni nel rapporto tra le disponibilità di alluminio primario e secondario. Entrambe le industrie però erano relativamente piccole.

Nel 1960 si sono prodotte 300 mila tonnellate di alluminio secondario; nel 1976 tale produzione ha superato il milione di tonnellate.

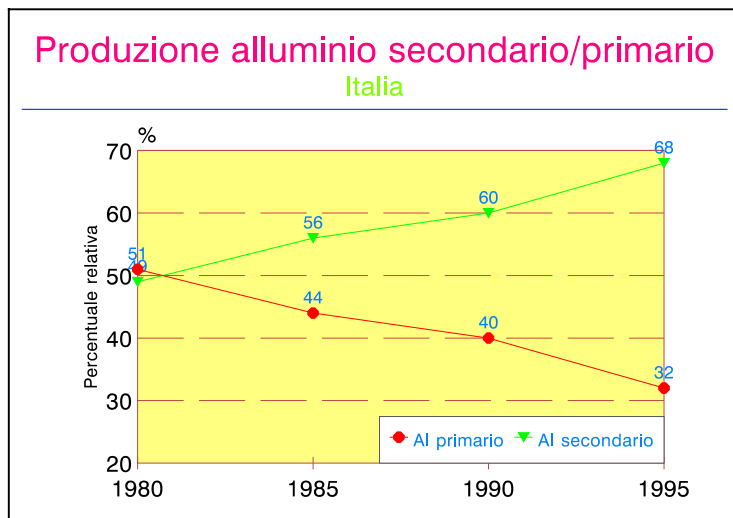
Negli anni dal 1953 al 1973 l'impiego di metallo secondario da parte dell'industria è stato pari al 18-23% della produzione totale. Nel 1976 tale produzione era pari al 21%. Ancora, tra il 1976 e il 1980 tale quota di produzione si è mantenuta pressochè costante attestandosi attorno al 20-22%.

Nel 1991 sono state commercializzate in tutto il mondo circa 7 milioni di tonnellate di alluminio secondario, di queste circa il 50% è stato impiegato per la produzione di leghe da fonderia (impiegate prevalentemente nell'industria automobilistica), mentre circa il 25% è stato usato per la fabbricazione di lattine.

In Europa sono state riciclate nello stesso periodo circa 2 milioni di tonnellate di alluminio; di queste più di 1,3 milioni di tonnellate sono state riutilizzate dall'industria dell'alluminio secondario. Il resto ha trovato impiego direttamente nell'industria primaria, nel caso di leghe particolarmente pure (serie 1000), o è stato riutilizzato per produrre gli stessi manufatti da cui proveniva (ad esempio l'alluminio delle lattine).

In Europa si ricicla circa il 35% di alluminio, recuperando circa il 90% di metallo utilizzato negli autoveicoli, l' 80% dei materiali da costruzione, e circa il 5-10 % dei prodotti di uso comune (lattine, fogli sottili ecc.). Questa quantità corrisponde all'incirca

a 1-1,5 kg pro capite all'anno a fronte di una produzione di 8 Kg pro capite.



Dal grafico di fig.2 si vede come in Italia già dai primi anni ottanta, si è dato inizio ad una inversione di tendenza nel comparto dell'alluminio. Ormai la nostra pro

duzione di alluminio secondario è vicina alle 400.000 t/anno mentre l'alluminio primario non raggiunge le 200.000 t/anno.

Secondo le stime fornite dal Consorzio CIAL l'alluminio costituisce circa lo 0,5 % in peso dei rifiuti prodotti in Italia pari a circa 100-150 mila tonnellate anno.

#### Caratterizzazione degli scarti e loro disponibilità

E' fin troppo palese, ma è bene ricordare che la produzione di alluminio secondario è funzione della disponibilità di scarti e/o rifiuti. Questa dipende da vari fattori:

- In primo luogo, durante la produzione di alluminio primario e nelle successive operazioni di fabbricazione dei relativi manufatti si ha una perdita di metallo, nonché una produzione di scarti legata al processo stesso. Questi sono chiamati scarti primari o "*new scrap*".
- Secondo, ci sono i così detti scarti secondari o "*old scrap*".

Tra le più importanti fonti di scarti secondari ci sono il settore trasporti (ad esempio le auto contengono circa 50 Kg per veicolo di alluminio completamente riciclabile) ed il settore imballaggi. In questo contesto il 65% degli scarti sono primari, e il 35% secondari. E' importante puntualizzare la differenza tra scarti e perdite così come comunemente intesa: in sostanza le perdite sono connesse ai processi di fusione. In questi casi l'alluminio è presente in forma ossidata. Si rimanda alla letteratura specializzata sull'argomento lo sviluppo delle tematiche relative al recupero del metallo da questi materiali.

La caratterizzazione merceologica di questi scarti secondari è molto importante. A seconda del tipo di scarto si può indirizzare il metallo verso differenti trattamenti nelle operazioni di riciclo (ciò in ragione del tipo di leghe a cui ci si riferisce e della percentuale di Al presente nelle leghe).

- Terzo, si deve tener conto di quanto alluminio è stato destinato alla commercializzazione da parte delle fonderie o dei produttori di semi-lavorati, in ragione della produzione annua. Nel valutare il peso reale dell'alluminio secondario sul totale, è importante tener conto della vita media delle merci considerate. Questo parametro è molto importante per il calcolo della disponibilità teorica di alluminio; l'alluminio contenuto in una lattina, infatti, sarà sicuramente disponibile molto prima di quello impiegato all'interno di un'automobile.

Dopo questa operazione, dal rapporto tra disponibilità teorica e reale è possibile ricavare la giusta 'rate' di riciclo. Questo calcolo è abbastanza complesso, d'altra parte la disponibilità di scarti è il parametro critico per la sopravvivenza dell'industria dell'alluminio secondario. Tale industria è di fatto l'ultimo anello nella catena del riciclo.

Generalmente questi tipi di impianti si approvvigionano attingendo su tutto il territorio nazionale del Paese in cui operano ed anche all'estero. All'interno di ciascun Paese vi sono zone a più forte produzione di scarti per la presenza di determinati tipi di fabbriche. Di fatto molte delle industrie di alluminio secondario sorgono nelle vicinanze di impianti automobilistici. E' questo il caso della Germania, Italia, Francia e Gran Bretagna.

#### *Origine degli scarti*

Gli scarti primari sono prodotti durante una grande varietà di operazioni industriali, quali laminazione, estrusione, forgiatura, produzione di profilati, fabbricazione delle lattine, produzione di cavi, ecc...

Caratteristica comune di tutti questi scarti è che sono relativamente facili da recuperare

Gli scarti secondari provengono, invece, in parte dalle industrie, ma in prevalenza dagli RSU. Le merci da cui è possibile recuperare alluminio, sono : automobili, lattine e contenitori in genere, camion, aerei, navi, elettrodomestici e materiali edili (infissi ecc..).

## **Recupero dell'alluminio dagli scarti secondari**

In questa sede ci si occuperà unicamente delle tecnologie di recupero dell'alluminio dai rifiuti e dai manufatti obsoleti.

### **Recupero dell'alluminio dai RSU**

Il recupero dell'alluminio dai RSU si realizza mediante una raccolta differenziata del materiale o nella separazione del metallo dai RSU raccolti in modo indifferenziato.

Il recupero dell'alluminio richiede che il materiale sia separato dagli altri rifiuti e conferito al trattamento; ciò di solito avviene in un impianto di trattamento apposito. La tecnologia di separazione utilizzata nel secondo si compone dei seguenti stadi :

- 1) *Classificazione selettiva* mediante insufflazione di aria, allo scopo di rimuovere composti leggeri e combustibili (carta e plastica), a loro volta riutilizzabili.
- 2) *Separazione magnetica* per il recupero dei metalli ferrosi.
- 3) *Vagliatura* per concentrare il vetro e altri materiali fragili.
- 4) Quello che resta dopo queste operazioni contiene circa il 10% in peso di metalli non-ferrosi. (assumendo che in origine la presenza dell'alluminio sia dell'ordine dello 0,5 - 1%). Il resto è costituito da materiale organico, vetro, plastiche pesanti, e gomma. Sono stati sviluppati due tipi di processi, applicabili su larga scala (originariamente negli U.S.A.), per la separazione definitiva dell'alluminio:
  - a) " *The Eddy Current Separator process*"
  - aa)" *The Friction-gravity Separator Process*"

#### a) I principi della corrente di vortice

Se un flusso di rifiuti viene fatto passare attraverso un campo magnetico in movimento, le particelle del metallo (conduttore di elettricità), in esso presenti, si magnetizzano per la induzione di correnti elettriche. Tali particelle vengono dunque deflesse dal campo magnetico ed espulse dal *flusso* del materiale da trattare. In accordo con questo principio è possibile classificare i metalli non-ferrosi dai non metalli sfruttando la loro diversa suscettività all'azione di un campo magnetico.

Questi principi sono noti da tempo, ma solo con lo sviluppo e l'introduzione di magneti permanenti è stato possibile costruire impianti per applicazioni pratiche.

In pratica i rifiuti portati da un nastro trasportatore, passano su un magnete rotante (solidale col nastro trasportatore); a questo punto avviene la classificazione.

Sono disponibili due tipi di apparati per l' *Eddy Current process* :



- 1) in uno il magnete rotante non ruota concentricamente al nastro (Steinert, Lindemann)  
;
- 2) nel secondo il magnete rotante è solidale al nastro;

E' importante che nei rifiuti da trattare siano completamente assenti materiali ferrosi che altrimenti impedirebbero il processo aderendo al nastro in prossimità dei magneti. Un nastro trasportatore è largo in genere 1m; Con un carico di rifiuti composto da materiale vagliato con sezione 40-180 mm con un peso di circa 150Kg/mc, si possono trattare circa 1,5-2,25 tonnellate di materiale per ora. Esistono delle varianti al processo come ad esempio il così detto " Raytheon Eddy Current Process". In questo processo i rifiuti vengono fatti scivolare su un piano inclinato di acciaio sotto il quale sono fissati dei magneti ceramici ( $\text{SrFeO}_2$  ,  $\text{BaFeO}_2$ ). Il principio è lo stesso solo, che in questo caso si sfrutta la forza di gravità .

#### aa) Reynolds Friction-gravity Process

In questo processo il materiale pretrattato, che è ricco in lattine di alluminio e altri oggetti che hanno la stessa forma delle lattine ma peso e composizione diversa, viene adagiato su un vaglio vibrante. Qui il materiale viene classificato a seconda del peso. I materiali dal vaglio cadono su un nastro trasportatore che scorre sotto. Questa prima operazione separa le lattine dalle frazioni più leggere; a questo punto la quantità di lattine presenti nel Feed è di circa il 65%, essendo il restante 35% composto di altri materiali di densità simile a quelle dell'alluminio.

Successivamente, si ha una classificazione mediante aria. In pratica i rifiuti vengono fatti cadere su un secondo nastro che scorre sotto il precedente. Durante la caduta, però, vengono investiti da una corrente d'aria regolata in modo che solo il materiale di un certo peso possa arrivare al nastro sottostante. L'ultima fase consiste in una separazione manuale delle poche sostanze che sono giunte sino a questo punto assieme alle lattine. La necessità logistica di un simile processo, (generalmente parte integrante del circuito di recupero dell'alluminio tramite raccolta differenziata di lattine), nasce dalla constatazione pratica che non sempre il materiale conferito nei contenitori appositi è solo alluminio. Anche in regioni dove la maturità e la sensibilizzazione ambientale degli utenti è elevata le lattine di alluminio recuperate non superano il 70% in peso del materiale che viene trovato nelle apposite campane.

Vengono ora descritte in dettaglio le strutture organizzative e le tecnologie , messe a punto per il recupero ed il riciclo dell'alluminio da due importanti fonti di alluminio secondario: le lattine e le automobili.

### **Recupero/riciclo delle lattine di alluminio usate (UBC)**

Le lattine di alluminio sono state introdotte per la prima volta nel mercato nord-americano agli inizi degli anni '60, diffondendosi rapidamente durante gli anni '70 grazie ai vantaggi derivanti dalla loro resistenza alla corrosione e leggerezza.

Dagli inizi degli anni '70, grazie a tutta una serie di incentivi, sia da parte delle autorità pubbliche che delle industrie produttrici, il riciclo di questo tipo di contenitori ha cominciato a svilupparsi, crescendo poi ininterrottamente. Oggi il riciclo delle lattine è a tutti gli effetti una fiorente industria. Già nel 1981 più dei 4/5 dei 145 miliardi di lattine fabbricate in un anno nel mondo, erano di alluminio, e di queste almeno il 50% è stato recuperato. In Europa nel 1991 il tasso di recupero era intorno al 21% con un aumento del 100% netto rispetto ai cinque anni precedenti. Le previsioni danno questa attività (che può essere definita industriale) in piena crescita. Il riciclo delle lattine di alluminio significa riduzione del volume dei rifiuti senza costi aggiuntivi per la collettività,<sup>[19]</sup> è necessario, però, che ci sia una quota minima di utenza (*share*) affinché si possa realizzare seriamente una campagna di raccolta/recupero di lattine.

Recentemente la Alcan ha realizzato un nuovo impianto per il trattamento delle UBC (Used Beverage Cans), dalla potenzialità di 50.000 tonnellate anno a Warrington (U.K.). Questo impianto è il primo del suo genere ad essere stato costruito in Europa. Grazie ad impianti di questo tipo, ed altre strutture simili sparse in Europa come il nuovo impianto della Reynolds di Venafro, la capacità totale di trattamento dell'Europa si attesta intorno alle 120.000 tonnellate anno.

### **La situazione in Italia e in Europa**

In Italia il recupero di lattine per il riciclo ha avuto inizio nei primi anni ottanta sotto la spinta del WWF, proseguendo con alterne fortune, interessando e coinvolgendo

associazioni ed industrie di vario tipo. In seguito, nel 1985, l'industria europea dell'alluminio nel suo complesso ha deciso di sviluppare in ogni nazione comunitaria programmi sistematici di promozione e riciclo delle lattine. In Italia le basi del riciclo delle lattine sono state poste a partire dal 1986, anno di inizio delle attività del consorzio volontario produttori RAIL, (Recupero alluminio in forma di lattina) e dal 1990 con la costituzione del consorzio nazionale obbligatorio COALA (Consorzio alluminio ambiente) in applicazione della legge 475/88. I cortocircuiti creati da alcuni vincoli normativi hanno fatto sì che in Italia operassero sino al 1997 due consorzi pressochè identici nelle finalità. Il Consorzio RAIL ed il COALA. Vi facevano parte i produttori di lattine e contenitori vari, le imprese che utilizzano i contenitori vuoti di alluminio, le associazioni di recupero Assorecuperi e Assofermet, Ministeri dell'Ambiente, dell'Industria, del Tesoro e delle Finanze.

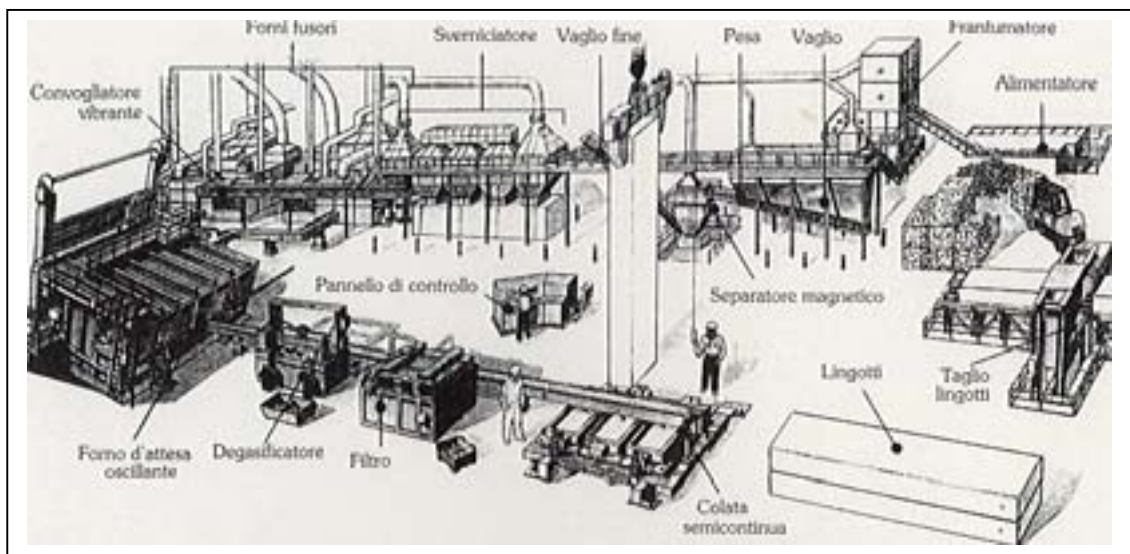


La situazione è stata normalizzata con il d.lgs 22/97, in applicazione del quale questi due consorzi sono confluiti nel CIAL che è il consorzio del comparto alluminio in seno al CONAI.

La produzione media europea di lattine (CEE+Est+Turchia) si attesta intorno a 30 miliardi di lattine/anno, di cui il 57 % in alluminio, con un consumo di 25,6 miliardi, di cui 14 in alluminio. La differenza tra consumo e produzione è dovuta alle esportazioni e agli stocks necessari alla rete di distribuzione. I cinque maggiori produttori di lattine in alluminio sono: Alcan, Alcoa, Pechiney, Reynolds, e VAW. Queste aziende in collaborazione con Alusuisse (Svizzera), Austria Metall e l'italiana Alumix si sono intensamente dedicate al recupero-riciclo delle lattine di alluminio, ritenendolo fondamentale nella risoluzione dei problemi legati ai crescenti costi energetici della produzione primaria.

## Il processo di riciclo delle lattine

Inizialmente in America le prime lattine raccolte per il riciclo venivano rifuse direttamente in forni a riverbero. Man mano che si sviluppavano le infrastrutture per il riciclo furono sviluppate tutta una serie di tecnologie per il *decoating*, il controllo di

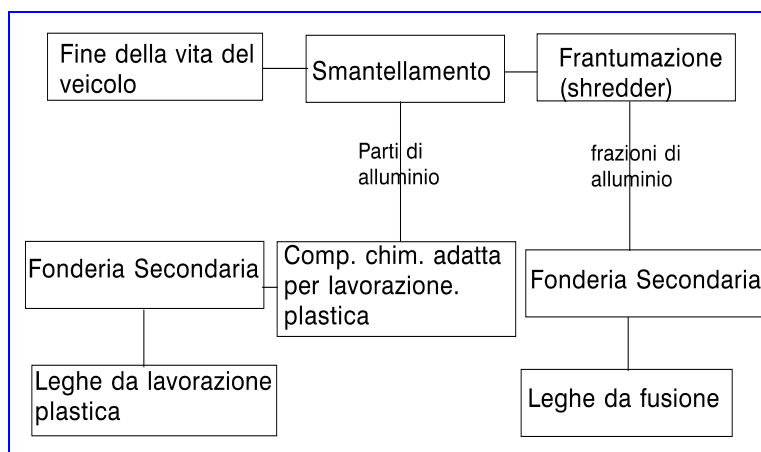


emissioni gassose e rifusione. Nella figura è mostrato il layout di processo di un impianto di trattamento tipico. L'impianto opera in continuo dal recepimento al *remelting* delle lattine: Le lattine imballate o libere giungono assieme a scarti di lavorazione primaria dell'alluminio nell'area di *loading* e convergono ad una tranciatrice meccanica (*shredder*). Il materiale triturato viene separato da eventuali fluidi e/o acqua, ferro, vetro, plastica in modo da avere una composizione uniforme nei successivi trattamenti. In pratica, uscito dallo *shredder* il metallo passa attraverso un (surge hopper), seguito da un separatore magnetico; a volte può

anche esserci un separatore ad aria per i metalli non magnetizzabili come piombo, acciaio, zinco ecc.... A questo punto il metallo passa ad un'unità di *decoating* dove vengono rimossi il film organico e la vernice che rivestono le lattine. Questo è un processo molto importante perchè elimina sostanze che presentano problemi sia economici che ambientali. Vi sono tre tipi di *decoaters*: forni rotativi, forni semi-continui o batch, e fornaci continue con nastro trasportatore. Un impianto come quello in figura processa tra le 9 e le 12 tonnellate ora. Nelle unità rotative il metallo è introdotto in un forno a temperatura controllata, che è riscaldato con una miscela di aria e prodotti di combustione con un basso contenuto di ossigeno per minimizzare l'ossidazione dell'alluminio. Nei forni semi-continui o batch il metallo è caricato in forni riscaldati con i prodotti caldi di combustione di una camera adiacente. Nel decoater a nastro continuo che è adottato negli impianti Alcan (vedi figura), le lattine frantumate formano un letto che scorre attraverso una camera ad atmosfera controllata. L'aria calda di riscaldamento attraversa trasversalmente il letto. Questo processo è particolarmente efficiente (vedi figura). Dopo il *decoating* i gas esausti contenenti prodotti di combustione passano ad un inceneritore per ridurre le emissioni nell'ambiente. L'energia termica dagli inceneritori è recuperata per mezzo di scambiatori di calore che preriscaldano l'aria di processo; l'aria è pure miscelata con i gas esausti provenienti dall'inceneritore; in pratica la sua temperatura di entrata è all'incirca uguale a quella del punto di rugiada dei comuni gas acidi. Il processo di *decoating* consente minori consumi energetici, e permette una più alta efficienza dei processi di rifusione. Il preriscaldamento degli *shreds* in questa fase fornisce il 35-50% del calore necessario alla fusione del metallo e, unitamente ad un rapido riscaldamento, permette di adottare bassi tempi di residenza del metallo durante le fasi di fusione. La combinazione delle tecnologie di *decoating*, introdotte alla Alcan dal 1975, con la fusione rapida hanno comportato notevoli miglioramenti nelle efficienza di riciclo di alluminio dalla rete di recupero portandola dall' 85% al 97%.

## Recupero di alluminio dagli autoveicoli

Prima del 1960 le automobili non venivano riciclate. Alcune parti venivano recuperate, ma il resto (motore, carrozzeria, ecc..) era portato in discarica. L'introduzione di tecnologie di *shredding* applicate agli autoveicoli negli anni settanta ha radicalmente cambiato la situazione. Oggi grazie al contenuto medio di circa 50 Kg di alluminio per veicolo, il riciclo delle auto usate è diventato pure economicamente realizzabile. Il riciclo di alluminio copre infatti il 25% dei costi di smantellamento, e attualmente si recupera circa il 90% dell'alluminio impiegato nelle auto. Il tipo di riciclo organizzato in questo campo è a ciclo chiuso (closing-loop recycling). Il processo tipico di riciclo delle auto è mostrato nella figura. Vengono tolti l'accumulatore, le ruote, il motore, il radiatore, la marmitta, ecc.. e recuperati (per ragioni di sicurezza) tutti i fluidi presenti compreso il carburante residuo.



La maggior parte dei materiali ingombranti sono venduti agli *shredders*, dove le vetture vengono ridotte in pezzi di 20-25 cm di diametro. Durante questa fase la plastica ed altri materiali leggeri vengono

rimossi mediante classificazione con aria. Gli *shreds* sono quindi alimentati in un separatore magnetico per recuperare le frazioni ferrose. I residui non ferrosi, che costituiscono il 5% in peso del materiale inizialmente processato, contengono il 30% di alluminio che è isolato dal resto con processi così detti *wet-process* (con acqua) e *dry-process* (a secco). Questi sono processi in cui si effettua una classificazione dei materiali in una corrente di acqua o di aria. In pratica gli *shreds* entrano in una camera in cui scorre una corrente di acqua; le frazioni di materiale acquistano una velocità che è funzione della loro sezione, forma e densità. Pertanto i materiali più pesanti cadono verso il basso, mentre le parti più leggere vengono trasportate dalla corrente. Nei separatori adottati per l'alluminio

viene impiegato un fluido con una densità che va da 1 a 3,3 g/cm<sup>3</sup>, in pratica una miscela acqua-ferro-silicone. Da qui l'alluminio è ulteriormente raffinato utilizzando separatori che sfruttano la tecnologia Eddy-current . (vedi prima) . Il processo è capace di recuperare alluminio con un'efficienza del 98%. Attualmente l'alluminio recuperato viene destinato alla produzione di leghe di fusione; per il futuro grazie all'introduzione di separatori laser (in grado di separare le differenti leghe di alluminio dal mix di scarti) sarà possibile ottenere leghe da lavorazione plastica.

Dopo gli *shredders*, l'alluminio recuperato è riciclato in impianti per la rifusione di alluminio secondario per fare leghe di fusione reimpiegate nell'industria dell'auto. Le fonderie di alluminio secondario sono normalmente equipaggiate con forni rotativi, nei quali la carica di metallo è fusa in un batch . La composizione chimica delle leghe ottenute in questi processi rientra tra quelle tipiche delle più importanti leghe da fusione, specialmente per pressofusione. Questo tipo di materiali ha un elevato valore intrinseco, quindi diventa economicamente interessante ottenere un alto tasso di recupero.

Considerando assieme le operazioni di separazione e rifusione, il tasso di recupero complessivo si assesta attorno al 90%. Un' interessante considerazione: nel 1990 in Europa su 600.000 t di alluminio presente in auto da rottamare si sono recuperate 540.000 t; nello stesso tempo l'industria automobilistica ha utilizzato 400.000 t di alluminio primario e 600.000 di alluminio secondario. In pratica dal riciclo delle auto si ricava poco meno dell'alluminio secondario che viene impiegato, il quale assomma al 60% dell'alluminio presente oggi negli autoveicoli .

Le opportunità future nel riciclo dell'alluminio degli autoveicoli, sono legate alle seguenti condizioni:

- 1) Incremento nell'uso di leghe di alluminio, grazie alla sua leggerezza e riciclabilità.
- 2) Miglioramento dell'impianto normativo, che come già accennato è oggetto di discussione a livello comunitario.
- 3) Sviluppo di nuove tecnologie per il recupero di alluminio anche da altri materiali, mantenendo la attuale alta efficienza di recupero. Si pensa all'introduzione di tecnologie simili a quelle utilizzate per le lattine, o l'introduzione di forni a plasma o induzione.

### **Trattamento alternativo: Presentazione**

Nelle pagine seguenti verranno esposti i risultati del lavoro di ricerca realizzato per l’implementazione di un procedimento chimico-industriale alternativo ai processi di remelting.

L’idea alla base del procedimento è la possibilità di convertire il metallo, in presenza di una soluzione acquosa di un idrossido alcalino, in alluminato e idrogeno gassoso.

Il procedimento messo a punto parte da manufatti di alluminio obsoleti e/o di scarto, nelle forme in cui essi pervengono al conferimento da operazioni di selezione da RSU o da raccolte differenziate o dal recupero di scarti di lavorazione.

La tipologia del trattamento sviluppato è poi tale da potersi attuare in impianti di piccola potenzialità, asserviti a piccoli bacini di utenza (es. 50.000 ab.), che non comportano ingenti investimenti.

La tecnologia messa a punto si candida quindi ad intervenire in aiuto della tecnologia di smaltimento tradizionale ove questa, o per ragioni tecniche (partite di alluminio eccessivamente diverse) o economiche (quantità raccolte insufficienti) non riesca a garantire uno smaltimento adeguato del materiale secondario; si ha così una valida alternativa tecnologica che permette di rimediare al paradosso di una materiale smaltito in discarica dopo essere stato raccolto selettivamente.

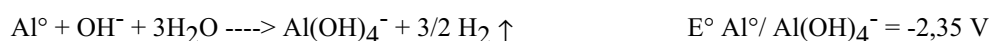


## PARTE SPERIMENTALE

Le basi conoscitive di partenza per la verifica della realizzabilità pratica delle idee espresse, sono costituite da una serie di lavori sperimentali, preliminarmente svolti negli anni passati, tutti realizzati su piccola scala al livello consentito dalla strumentazione generalmente disponibile in laboratorio.

Da quanto riportato in questi lavori si sa che:

1. La reazione di attacco alcalino in mezzo acquoso,



se applicata a materiali in leghe a base di alluminio, avviene senza particolari difficoltà.

Il processo può essere applicato a tutte le tipologie di leghe di alluminio in commercio, prese singolarmente o in mix, e addirittura contaminate da materiali estranei, plastica, vernici, coatings superficiali ecc.

Sulla base di queste premesse si è operato secondo le seguenti direttrici:

- 1) Ottimizzazione dei parametri fisico-chimici e di processo per la determinazione delle condizioni migliori in cui condurre la reazione.
- 2) Caratterizzazione dei prodotti ed individuazione dei possibili usi.

## 1. Ottimizzazione dei parametri di reazione

Per lo studio e l’approfondimento del procedimento chimico in individuato sono stati selezionati i seguenti materiali:

- 1) Lattine – intere e all’occorrenza compattate e pressate così come usualmente disponibili sul mercato delle materie prime seconde;
- 2) Scarti e sfridi di lavorazione di profilati per infissi;
- 3) Fili e cavi elettrici;
- 4) Parti di blocco motore a scoppio;
- 5) Utensili in alluminio;

In sostanza si è scelta una serie di manufatti includente tipologie di oggetti che è comune ritrovare negli RSU, e che sono rappresentative delle diverse categorie di leghe di alluminio di uso commerciale vale a dire leghe per lavorazione plastica e leghe per getti di fonderia.

Circa le caratteristiche e le composizioni delle leghe costituenti i manufatti in questione si rimanda alla parte introduttiva.

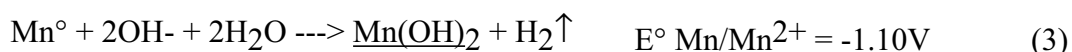
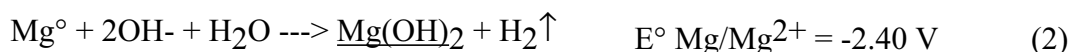
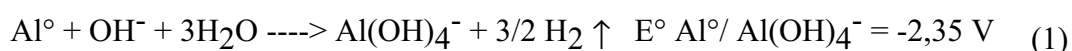
Si tratta di materiali compositi, costituiti da leghe diverse di alluminio in cui spesso il metallo non è a diretto contatto con l’ambiente esterno essendo rivestito da altri materiali (aventi generalmente il compito di isolare il metallo dall’ambiente esterno o dai prodotti che contiene, o con mera funzione estetica o di etichetta) ed aventi come caratteristica comune l’insolubilità in fasi acquose.

Dopo una serie di prove preliminari su scala 10-20 volte inferiore, è stato progettato e realizzato un sistema di reazione in scala pre-pilota: con un reattore a camicia del volume di circa 3000 ml, in cui è stato possibile conferire materiale in alluminio come lattine intere, scarti e sfridi di lavorazione di serramenti ed altro materiale. I manufatti di dimensioni troppo grandi sono stati spezzettati. La camicia del reattore è stata collegata ad un termostato per il mantenimento della temperatura di reazione impostata. In testa al reattore è stato poi realizzato un sistema di aspirazione e convogliamento del gas di idrogeno svolto durante la reazione. Il reattore è stato provvisto di un sistema di agitazione, nonché di uno scarico per lo svuotamento ed il recupero dei prodotti di reazione a fine processo. Con un sistema di reazione così dimensionato si è arrivati a processare sino a 100 gr. di alluminio alla volta.

Il reagente alcalino, costituito da una soluzione acquosa di NaOH 2-5 Molare, è stato ottenuto da NaOH satura per diluizione con acqua deionizzata prebollita; la soluzione è stata successivamente standardizzata acidimetricamente. La determinazione dell'alluminio in soluzione è stata determinata con un metodo complessometrico riportato in appendice.

## 2. Scelta delle condizioni operative

L'attacco redox delle leghe in alluminio considerate consiste nello svolgimento delle seguenti reazioni:



Queste reazioni avvengono contemporaneamente; ovviamente per un fatto di netta prevalenza quantitativa la reazione (1) produce gli effetti più marcati.

Il primo parametro da ottimizzare è stato la quantità di alcali per unità di peso di materiale. Per ragioni pratiche si sono impostati i calcoli attribuendo all'alluminio il 90% del peso complessivo (distribuendo il restante 10% tra rivestimenti 5%, e gli altri elementi di lega), determinando quindi il fabbisogno di alcali in funzione della sola reazione (1).

Sono stati selezionati i rapporti molari  $\text{NaOH}/\text{Al}^\circ = 1,25 - 1,70 - 2,25$ ; le quantità occorrenti di NaOH sono state apportate con volumi appropriati di soluzioni acquose di concentrazione compresa tra 2 e 5 M.

Per quanto riguarda la temperatura sono stati selezionati 4 valori ai quali realizzare la reazione nel reattore termostato:  $T_{\text{ambiente}} \cong 25, 50, 75, 95 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Conduzione delle prove di attacco alcalino

Sulla base delle scelte operate si sono eseguite le prove di attacco alcalino.

La reazione è stata condotta sotto costante agitazione, e ad intervalli regolari sono stati eseguiti prelievi per la misura dell’alluminio passato in soluzione e la determinazione della velocità di dissoluzione.

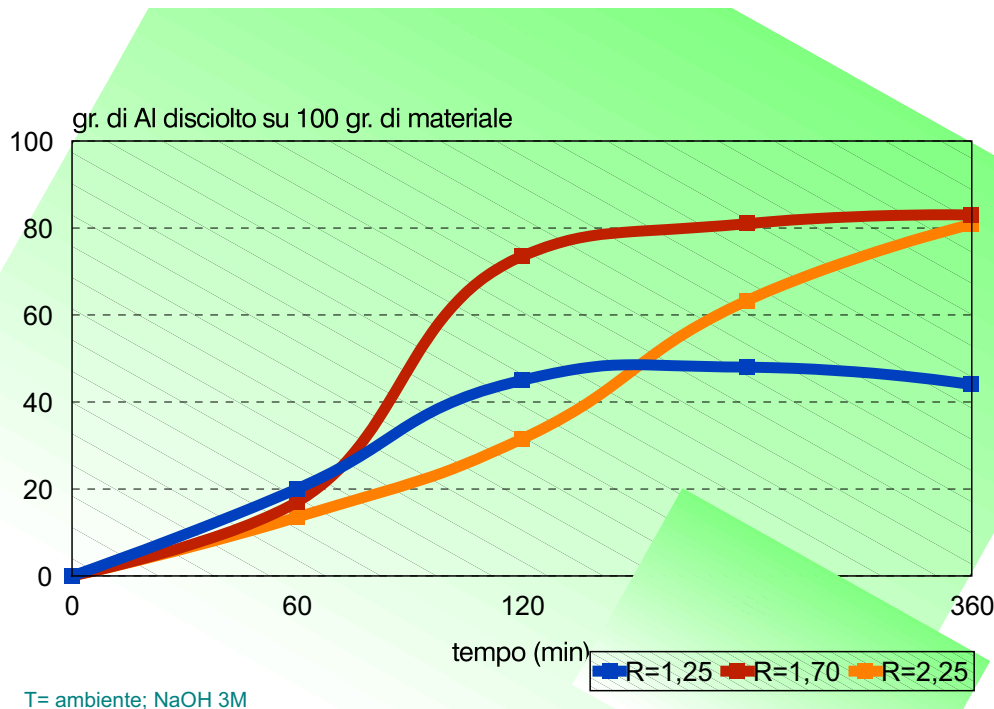
Durante la reazione si ha **sviluppo di idrogeno** e di calore; inoltre si nota un progressivo intorbidamento per il formarsi di un residuo solido di colore grigio-nero. A fine reazione, che si evidenzia con la fine della evoluzione di idrogeno, e dopo del liquido dai solidi, si osserva:

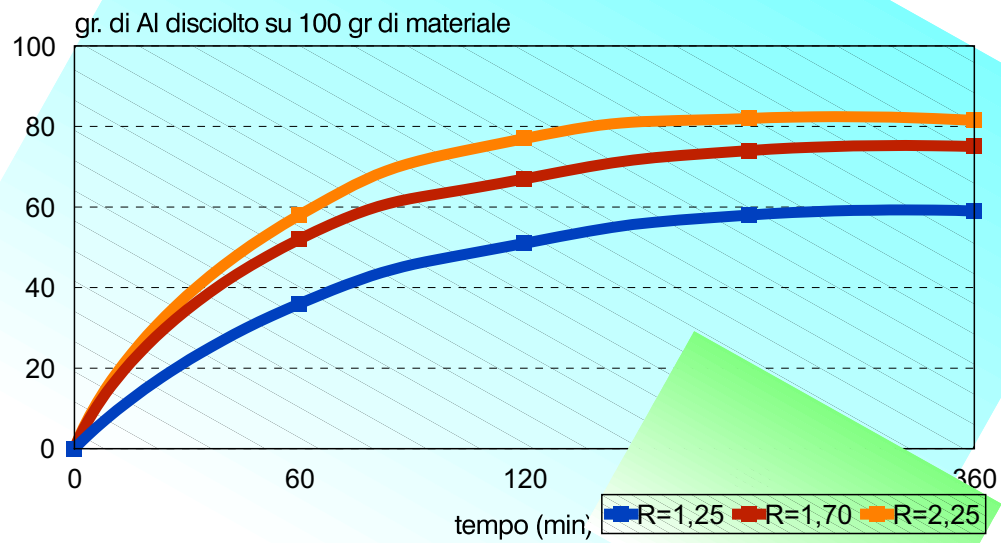
- una fase acquosa contenente tetraidrossialluminato di sodio ed un eccesso di alcali sodico libero
- del materiale polimerico proveniente dal coating superficiale, interno ed esterno al corpo delle lattine, che non ha subito l'attacco alcalino;
- un solido a fine granulometria di colore grigio-scuro, facilmente separabile dalla soluzione costituito dagli ossidi/idrossidi dei costituenti minori della lega di alluminio, con occasionali presenze di idrossido di alluminio.

### Risultati e discussione

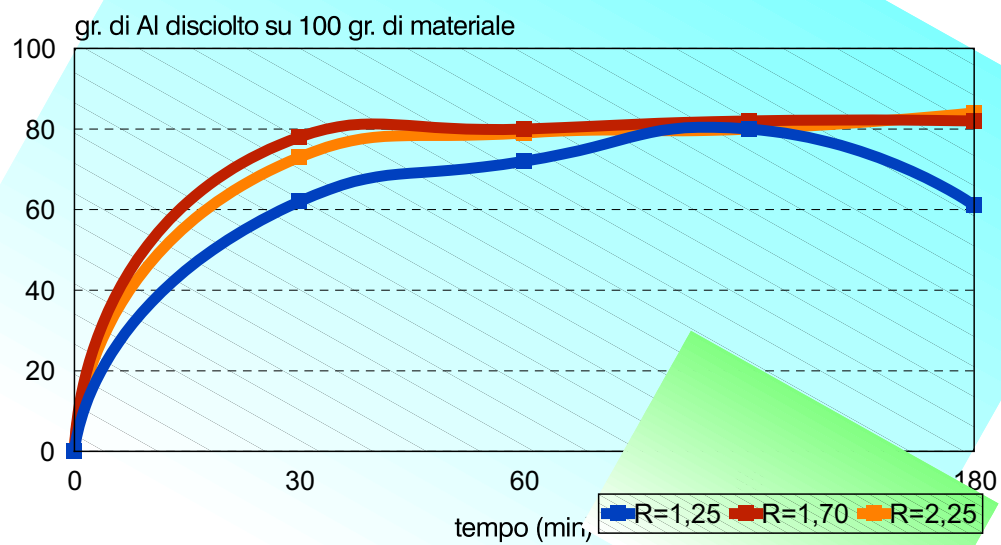
I grafici e la tabella seguenti riassumono i risultati più significativi in termini di percentuale di alluminio passata in soluzione lungo il corso della reazione, e quindi di velocità dissoluzione del materiale a base di alluminio alle diverse temperature utilizzando NaOH 3M, a tre diversi rapporti molari  $R = \text{NaOH}/\text{Al}$ .

Dai grafici 1-4 si evince subito un notevole effetto della temperatura sull’accelerazione della reazione e nel raggiungimento dei massimi di estrazione in tempi sempre più brevi, ma si nota pure, dal grafico 1, che la reazione dev’essere esotermica e che il calore generato e ceduto alla soluzione, facendone crescere la temperatura, accelera progressivamente la reazione. Tuttavia la compresenza di più effetti (effetto termostato, effetto del calore di reazione, effetto volume di reagente) non consente una immediata e adeguata termastabilizzazione né consente un’agevole lettura dei grafici circa l’influenza del rapporto  $\text{NaOH}/\text{Al}^\circ$  sulla velocità e sulla completezza della reazione anche se si ha l’impressione che essa non sia operante.

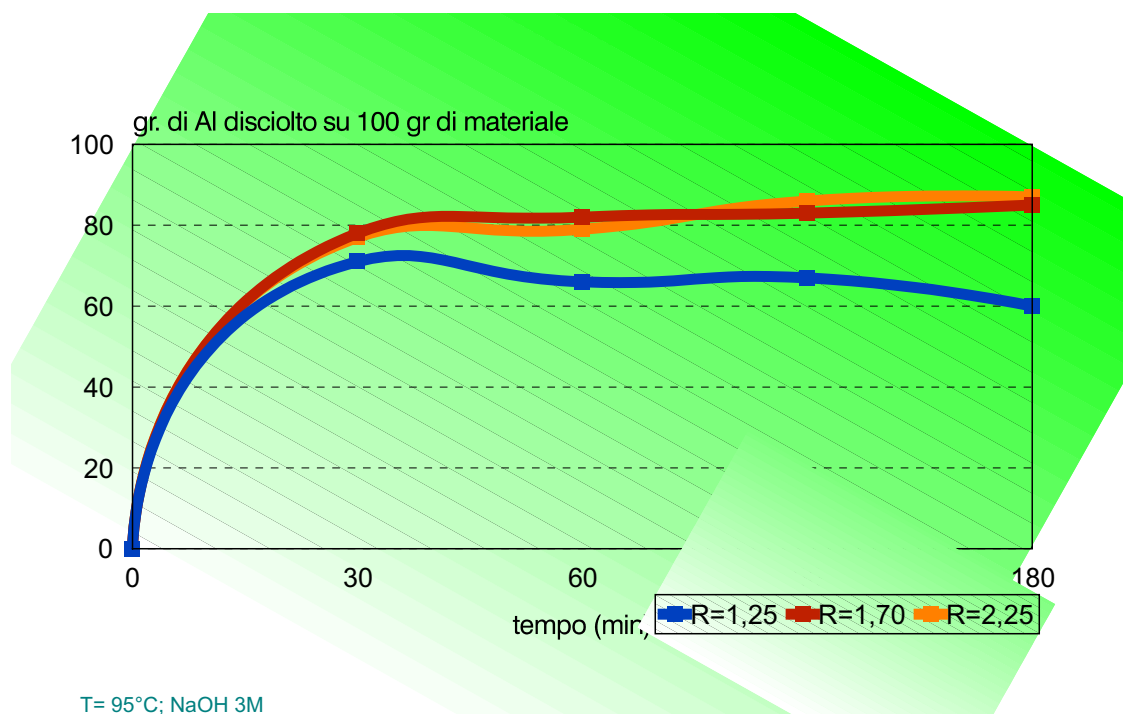




T= 50°C; NaOH 3M

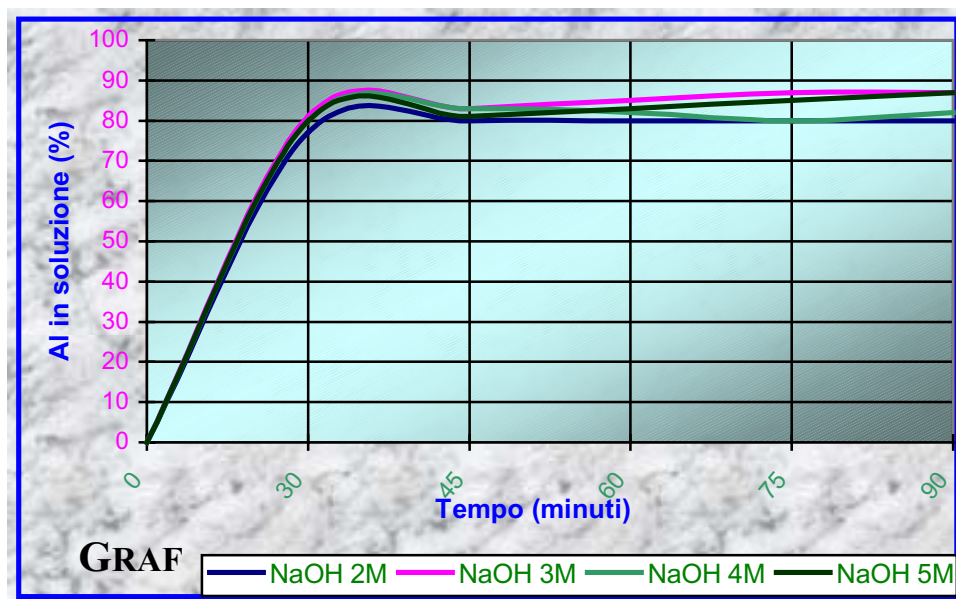


T= 75°C; NaOH 3M



Temp. Di reazione °C	Rapporto molare OH-/Al	Al in soluzione % in peso	Al in soluzione gr.	Rapporto peso Metallo/residuo
Ambiente	1,25	44.24	44.24	1.00
Ambiente	1,70	83.19	83.19	5.62
Ambiente	2,25	80.92	80.92	4.27
50	1,25	59.47	59.47	1.83
50	1,70	75.62	75.62	4.82
50	2,25	81.30	81.30	5.10
75	1,25	61.75	61.75	1.71
75	1,70	82.09	82.09	7.14
75	2,25	81.81	81.81	4.11
95	1,25	66.88	66.88	2.34
95	1,70	78.65	78.65	6.31
95	2,25	83.53	83.53	5.10

TABELLA 1 Alluminio in soluzione a fine reazione per 100 gr. di materiale

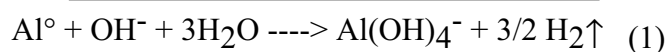
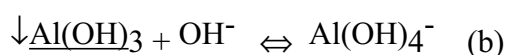
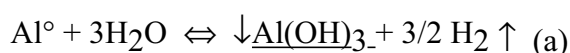


Nel grafico viene riportata la variazione della velocità di dissoluzione e la resa finale in alluminio passato in soluzione, per diverse concentrazioni di NaOH con un rapporto molare pari a  $R=1,70$ ,

$T=75^{\circ}\text{C}$ .

E' stato tuttavia accertato con chiarezza (Graf. 5) che la velocità di dissoluzione cambia molto poco al crescere della sola del reagente. Ne consegue che il parametro critico più importante per il buon esito della reazione è la giusta quantità di alcali sodico in eccesso rispetto al minimo stechiometrico necessario per la reazione stessa. Infatti un eccesso inferiore o uguale al 25% non è sempre sufficiente a tenere in soluzione l'alluminio ossidato sotto forma di alluminato sodico; in tali casi lo si ritrova a fine reazione, insieme agli idrossidi dei componenti minori, riprecipitato come  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Un eccesso del 125% pare peraltro eccessivo in quanto si traduce, rispetto ad esempio ad un eccesso dimezzato, solamente in un aumento nel consumo di reagente. Ottimale si rivela invece un eccesso del 50-70% che è stato infatti individuato come il range più adatto il rapporto dei reagenti.

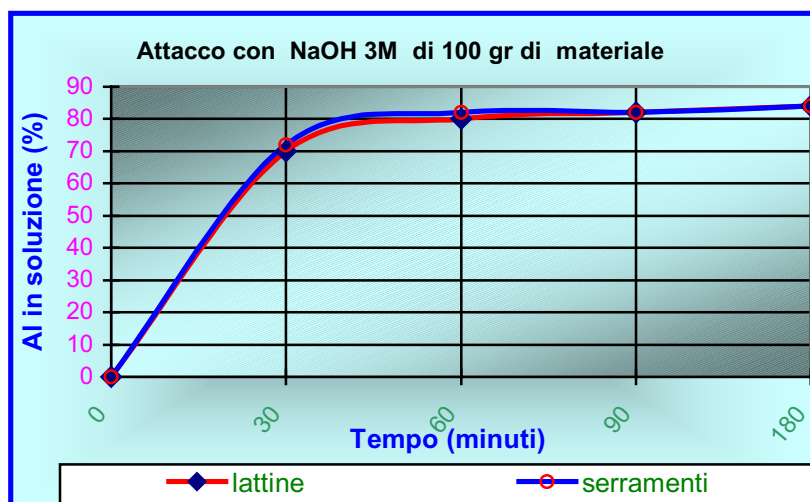
E' probabile, come si diceva prima, che l'eccesso di alcali sodico, oltre la soglia minima necessaria, non abbia influenza né termodinamica né cinetica sull'equilibrio redox, ma solo su quello di solubilizzazione dell'idrossido in fase acquosa, nei modi illustrati rispettivamente dalle seguenti reazioni (a) e (b), la cui somma equivale alla reazione (1).





Per i diversi materiali, considerati singolarmente, sono possibili tempi diversi di induzione per il raggiungimento del massimo di attività nella reazione. Infatti, se si prescinde dal già citato effetto della temperatura, i tempi più o meno lunghi con i quali la reazione raggiunge il suo massimo di velocità (generalmente evidenziato da un intenso svolgimento di gas) sono funzione della superficie di metallo immediatamente disponibile all'attacco alcalino. Tale superficie varia a seconda del manufatto considerato in relazione allo spessore (maggiore è lo spessore di un pezzo di metallo, minore è, a parità di peso, la sua superficie), ed alla presenza di coperture esterne (vernici, coatings ecc...) costituiti generalmente da materiali inerti alla soluzione acquosa alcalina e che di fatto proteggono il metallo sottostante dall'azione del reagente. L'allontanamento di questa protezione si realizza ad opera del gas in evoluzione a condizione che esistano, nel materiale sottoposto all'attacco, parti esposte, anche di limitata superficie, quali spigolature, piegature, graffi, superfici di rottura, ecc...). In corrispondenza di tali punti la reazione inizia e progredisce insinuandosi sotto le pellicole consentendone il progressivo distacco. Tale effetto è naturalmente più immediato al crescere della temperatura. La presenza di superfici esposte nei materiali deformati dalla compattazione (forma usuale di conferimento ai siti di utilizzazione) li rende di fatto pronti all'impiego.

E' stato altresì interessante constatare come, il comportamento di una singola



tipologia di oggetti, (ad esempio lattine in alluminio) non sia affatto differente dagli andamenti che sono stati precedentemente descritti.

Tale evidenza è stata confermata sottoponendo a trattamento singole

tipologie di materiali: nel grafico si riportano gli andamenti di reazione a  $T=75^{\circ}\text{C}$ ,  $R=1,70$ , NaOH 3M nel caso di lattine e scarti della lavorazione di serramenti.

Quanto al residuo di ossidi/idrossi degli elementi minori di lega, un tipico campione è stato disidratato ed analizzato chimicamente. Il suo peso è risultato

essere pari al 10 % del materiale di alluminio trattato e la sua composizione media su base secca ha dato i valori riportati in tabella.

$Mn_2O_3$	$MgO$	$Al_2O_3$	$CuO$	$SiO_2$	Altri ossidi
%	%	%	%	%	%
33,91	18,75	24,55	1,72	15,54	5,53

Sulla base della composizione su riportata, la prima opportunità d’uso consiste nel contattare il residuo con la soluzione acquosa di alcali prima dell’ingresso al reattore, in modo che possa asportare l’idrossido di alluminio e portarlo ad integrare la resa del suo recupero. Per quanto riguarda invece altri componenti del residuo, i due più interessanti sono il manganese ed il rame, per cui non si esclude di poter collocare il fango filtropressato presso le aziende che recuperano e/o lavorano questi metalli. A tutt’oggi, però, non è stata intrapresa alcuna iniziativa in tal senso; ove questa strada non fosse comunque percorribile per ragioni tecniche e/o economiche, resta lo smaltimento in discarica attrezzata, nei modi previsti dalla normativa in vigore, e che, considerate le quantità, potrebbe essere la soluzione più pratica ed economica.

Ritornando ai risultati della ottimizzazione dei parametri di processo, essi dovrebbero essere regolati così:

- rapporto molare  $NaOH/Al^o$  compreso tra 1,50 e 1,70
- concentrazione di alcali  $3 \pm 1M$
- temperatura di reazione  $75 \pm 10^\circ C$
- Un tempo di reazione  $120 \pm 30$  min.

### PRODUZIONE DI IDROSSIDO DI ALLUMINIO IN ALTERNATIVA A QUELLA DI IDROSSIALLUMINATO

Come è possibile desumere dalla reazione (1) questa alternativa produttiva presenta il risultato di puntare ad un prodotto di ampio mercato con una spesa minore in quanto è possibile riciclare l'alcali. Operativamente essa può essere realizzata traendo profitto dal fatto

che la soluzione di alluminato sodico, proveniente dal processo prima descritto, entra in regime di sovrasaturazione, ove la si lasci raffreddare e riposare per qualche giorno; si separa spontaneamente idrossido di alluminio a spese, di quello passato in soluzione durante l'attacco alcalino.



Si è ricercata una metodologia per *accelerare* il processo di precipitazione di alluminio idrossido dalla soluzione di alluminato sodico.

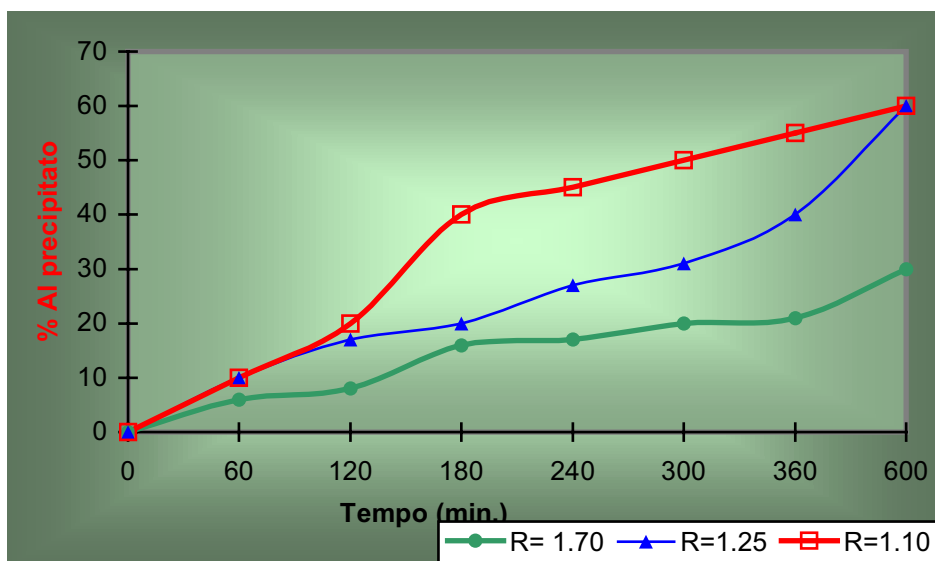
Si è operato sottoponendo ad attacco alcalino diverse tipologie di materiale, e poi un mix di tali tipologie nelle condizioni operative seguenti:

- NaOH 3M;
- T= 75°C;
- t di reazione 100 min.;
- Rapporti molari OH-/Al: 1,70 – 1,25 – 1,10.

La scelta dei rapporti molari più bassi è motivata dalla considerazione che un minore eccesso di alcali dovrebbe agevolare la successiva riprecipitazione. Quanto alla scelta del tempo di reazione, si intende arrestare la reazione prima che si inneschi il processo di riprecipitazione dell'idrato di alluminio dall'idrossialluminato, onde consentire la separazione del residuo nero dal liquore di idrossialluminato caldo.

Questo liquore ancora caldo è stato addizionato di un grammo di  $\text{Al}(\text{OH})_3$  per litro di soluzione di alluminato per innescare la rottura dello stato di sovrasolubilità. Dopo qualche ora di lenta e costante agitazione a temperatura ambiente, mentre la temperatura della soluzione decresce, si separa dalla soluzione nuovo  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Nel grafico sono riportati i risultati di prove condotte come descritte.



la percentuale di alluminio precipitato come idrossido, riportata sulle ascisse è stata ottenuta determinando l'alluminio residuo in soluzione, sottraendolo alla concentrazione di alluminio presente in soluzione prima dell'innesco e rapportando la differenza a quest'ultima considerata 100.

Rispetto al peso del materiale di partenza, però, quest'ultima concentrazione era pari  $80 \pm 1\%$  in peso.

# PARTE IV

<h2>CONCLUSIONI</h2>
----------------------

## CONCLUSIONI

Al fine di verificare se i risultati colti con le ricerche eseguite in questa tesi sono adeguati rispetto agli obiettivi prestabiliti, conviene innanzitutto ricapitolare questi ultimi.

Come più ampiamente esposto in precedenza, esiste oggi una obiettiva difficoltà da parte degli enti locali preposti allo smaltimento dei RSU nel far fronte alle esigenze, agli obiettivi ed alle scadenze imposte dal “*Decreto Ronchi*”. A parte i ritardi che si registrano, almeno in una parte del Paese, rispetto ai valori percentuali programmati per la raccolta differenziata, un problema grave ed assai diffuso consiste nella inadeguata purezza delle singole partite di rifiuti raccolti, o almeno di una parte di essi, rispetto alle specifiche imposte dalla tecnologia del riciclo tradizionale. Per evitare la paradossale conseguenza di vanificare lo sforzo per la raccolta differenziata ridestinando alla discarica consistenti partite di rifiuti così raccolte, si rende necessaria la ricerca di tecnologie di riutilizzo, dei materiali separati da RSU, più flessibili e meno esigenti in termini di purezza e selettività di quelle oggi disponibili, e comunque in grado di assolvere al requisito fondamentale dello smaltimento mediante utilizzazione e con ritorno economico, senza i vincoli imposti da gravosi investimenti.

Le tecnologie di reimpiego dei materiali di vetro ed alluminio da RSU che sono state esposte nelle pagine precedenti, presentano, a giudizio di chi scrive, tutti i requisiti di praticabilità normativa, tecnica ed economica richiesti dall’attuale contesto industriale.

Una iniziativa industriale nel campo del recupero e della valorizzazione dei rifiuti deve soddisfare almeno il requisito di dare risposte tecnologicamente sicure alle esigenze di tutela e salvaguardia ambientale imposte dalle nuove normative e dalla crescente sensibilità delle componenti sociali garantendo l’effettivo smaltimento, di quanto viene recuperato o raccolto selettivamente, attraverso processi a basso impatto ambientale e sociale, in grado di riscuotere il più ampio consenso possibile.

Non sempre questa esigenza può essere combinata con un buon ritorno economico.

Le operazioni connesse allo smaltimento dei rifiuti sono in generale e nel loro complesso economicamente gravose. Questa realtà è ben nota al legislatore, che non a caso ha introdotto il concetto di *tariffa* nello smaltimento dei rifiuti quale mezzo con cui compensare inevitabili passività di bilancio. Tuttavia mentre la raccolta dei rifiuti non potrà mai dare ritorni economici, il riutilizzo, con idonee modalità, di alcune tipologie di rifiuti raccolte selettivamente può riuscire nell'intento a contribuire a limitare le diseconomie complessive.

Orbene si può dimostrare che l'applicazione delle tecnologie messe a punto rispondono non solo al primo ma anche al secondo requisito.

Da un punto di vista dell'investimento non vi sono particolari oneri, trattandosi in entrambi i casi di reazioni chimiche molto semplici realizzabili con un singolo stadio impiantistico e senza costosi accessori. Ciò consente di applicare vantaggiosamente la tecnologia a piccoli bacini di utenza su scala provinciale, comunale (se sopra i 50.000 abitanti) o intercomunale ove non esistono impianti di smaltimento tradizionali, ed è antieconomico il trasporto ed il conferimento ai centri attrezzati.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale si tratta di processi assolutamente sicuri che non presentano problemi di emissioni di sostanze pericolose, se si escludono dei residui in forma solida, al più fangosa, di semplice smaltimento, ridotti a seguito del trattamento di 5-10 volte rispetto ai materiali di partenza.

Entrambi i processi possono utilizzare materie prime disponibili a prezzo negativo. Il reagente comune è la soda caustica di costo moderato e comunque largamente inferiore, tenuto conto dei consumi, rispetto al valore dei prodotti. I prodotti ottenuti sono idrato di alluminio o idrossialuminato di sodio e idrogeno gassoso nel trattamento dell'alluminio; silicato di sodio nel trattamento del vetro.

Tutti questi prodotti possono trovare una agevole collocazione di mercato.

Da un Kg. di vetro si ricavano circa 0,5 Kg. di silicato di sodio ed altrettanto residuo inestratto. Nel contempo per la conduzione del processo sono necessari circa 0,36 Kg di soda caustica e circa 0,2-0,3 kwh/Kg. di vetro.

I costi della conduzione del processo sono dunque di circa 200 lit. per la soda ed intorno alle 20 Lit. per l'energia per Kg di vetro secondario lavorato.

Per il silicato le quotazioni di mercato si aggirano intorno alle 700 lire/kg. anche senza considerare ritorni dalla possibile utilizzazione del residuo inestratto, la convenienza economica è evidente.

Da un Kg. di alluminio si ottengono 1,2 mc di idrogeno e 2,9 Kg. di idrato di alluminio; il valore di mercato si aggira intorno a 1000 lire/mc per l'idrogeno ed a 500 lire/kg. per l'idrato di alluminio. Per ottenere questi prodotti sono necessari circa 2,5 Kg di soda caustica e nelle condizioni di reazione individuate come ottimali circa 1,5 Kwh di energia.

I costi relativi all'acquisto di soda caustica si recuperano quasi per intero o perché la si ritrova interamente a fine processo e può essere riciclata, o perché la si rivende combinata all'idrato di alluminio nell'idrossialuminato, per cui l'unico costo effettivo per la conduzione del processo è quello energetico che è quantificabile (eccedendo) in circa 100 lit/kg di alluminio trattato.

Sulla base di questi dati, è possibile dunque concludere che le premesse ottimistiche prima riportate sulla praticabilità tecnico-economica, oltreché normativa delle due tecnologie studiate e proposte per il vetro e l'alluminio secondari erano ben fondate. Senza considerare la possibilità (peraltro assolutamente realistica nelle attuali condizioni di mercato) di ritirare i materiali secondari a titolo remunerato fino a 100-150 lire/kg e senza tener conto delle agevolazioni e dei finanziamenti a fondo perduto che tali iniziative, specie nel Sud del Paese (Regioni ad obiettivo 1), possono attrarre, i conti economici sono di già attivi o, per lo meno, in pareggio. A questo aggiungasi l'indiscutibile semplicità e basso costo dei trattamenti, nonché l'opportunità per il settore di adire a diversificazioni nelle opportunità di riuso dei materiali secondari, dalle quali questi ultimi possono trarre solo vantaggi ed ulteriore valorizzazione.

Non tutti i problemi sono risolti: a parte una saggia prudenza che è d'obbligo per attività industriali non ancora collaudate ed affermate nella loro scala reale, vi sono ancora da mettere a punto alcuni dettagli tecnici quali:

- ottimizzazione dei processi e dei ricicli su scala (pre-)industriale;
- attuazione degli sbocchi previsti per l'utilizzazione del residuo inestratto;
- valorizzazione in funzione delle opportunità locali di collocamento (o della creazione di impianti di conservazione e commercializzazione in bombole) dell'idrogeno di elevata purezza prodotto nel trattamento dell'alluminio;



- individuazione di opportunità di riutilizzo (o scelta dello smaltimento in discarica) del residuo degli ossidi dei componenti minori delle leghe di alluminio.

Tuttavia è possibile predire che questi ulteriori studi potranno soltanto confermare ed accentuare le già consistenti opportunità tecnico-economiche di già evidenti.

Infine altri aspetti di natura organizzativa e logistica riguardanti il dimensionamento dei flussi dei materiali di ingresso agli impianti e quelli riguardanti il mercato dei prodotti saranno da calibrare come per tutte le nuove attività industriali.

## **Bibliografia**

“Ambiente Veneto Verso il 2000” Pubblicazione a cura della Regione Veneto 1998

Ministero Dell’Ambiente “Relazione sullo Stato dell’Ambiente” 1997

AMIA Verona –Federambiente “Raccolte Differenziate Banca Dati – Indagine 1997”

AMIA Verona –Federambiente “Produzione Rifiuti Solidi Urbani in Italia – Indagine 1995”

Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente “Il Sistema ANPA di Contabilità dei Rifiuti – Prime elaborazioni dei dati” Roma giugno, 1998

Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente “Secondo rapporto sulla produzione di Rifiuti Solidi Urbani, di Imballaggi e Rifiuti da imballaggio” Roma, luglio 1999

AUSITRA Assoambiente Impianti di Trattamento dei Rifiuti Solidi Urbani e Assimilabili – Indagine 1995 - Milano luglio 1996

D.lgs 22/97 e successive modifiche ed integrazioni – Decreto del Ministero dell’Ambiente 5 febbraio 1998

Marina Crescenti “La Raccolta differenziata ed il riciclaggio dei Rifiuti solidi Urbani: Gli imballaggi” Catania 1996 Milano 1995

Mario di Fidio “Economia dei Rifiuti e Politica Ambientale” Il Sole 24 ore Pirola S.p.A. ,

Salvatore Lorusso “Gli Imballaggi per i Prodotti Alimentari” Chirioti Editori, Torino 1986

G.Santoprete, S. Bigagli “Tecnologia dei Processi produttivi di Alcune Industrie di Rilevante interesse per la Regione Toscana” G. Giappichelli Editore – Torino -1992

Associazione Nazionale degli Industriali del Vetro “RELAZIONE alla Assemblea Generale delle Aziende Associate” - Roma 26 Giugno 1998

Consorzio Recupero Vetro CO.RE.VE. “Programma Specifico di Prevenzione periodo 1999-2002 - Milano 1999

Valerio Bernardi " il mondo dell'Alluminio" Consorzio COALA-RAIL - Milano 1995

ENIRISORSE " Metalli Non Ferrosi - Statistiche 1996 " - Roma 1996

A.R.Burkin " Production of Aluminum and Alumina " Jhon Wiley & Sons - New York 1987

M.Conserva, G.Donzelli, R.Trippodo " Alluminio - Manuale degli impieghi" EDIMET Brescia dic. 1990

M.Conserva " Alluminio ed Ecologia " AL Alluminio e leghe pag. 45 - maggio 1995

P.W.Gilgen " Aluminum and Ecology " Recyclng International Vol.1 pag. 662 K.J. Thomè Kozmiensky (Editor) - Berlin 1989

J.W. Plumb " Recycling Aluminum Packaging Materials " JOM Journal of Minerals & Materials Society Vol. 44 iss. 12 pag. 28 - 1992

M.P.Thomas A.H. Wirtz " The Ecological demand and practice for recycling of aluminum " Resource, Conservation and Recycling Vol 10 pag. 193 - 1994

N.M. Stubina J.M. Toguri " Magnesium removal from aluminum melts using dichlorodifluoromethane " Conservation & Recycling vol 10 n° 4 pag 307 - 1987

C.L. Mantell " Solid Wastes : origin, collection, processing and disposal " Jhon Wiley and Sons - USA 1975

G. Kirchner " The Importance of Secondary Aluminum in aluminum Supply " Recyclng International Vol.1 pag. 663 K.J. Thomè Kozmiensky (Editor) - Berlin 1989

Consorzio COALA-RAIL. Dati forniti dal Dott. Valerio Bernardi Presidente consorzio COALA-RAIL

G.Kirchner (Seg.Gen OEA) " Secondario: Cronaca di una crisi " AL Alluminio e leghe EDIMET pag.19 - Giugno 1995

Encyclopedia of Chemicals Processing " Aluminum Secondary " Vol.3 pag 97

R.S. Kaplan H. Ness " Recycling of Metals " Conservation & Recycling Vol 10 n°1 pag 1 1987

G. Lazzaro M. Eltrudis F.Panovi " Recycling of aluminum dross in electrolytic pots" Resource, Conservation and Recycling n°10 pag 153 - 1994

H.Soto J.M. Toguri " Aluminum recovery from dross by flotation " Conservation & Recycling Vol.9 n°1 pag 45 - 1986

K.H. Rezac " A system for processing aluminum dross in a reduced oxygen enviroment " Conservation & Recycling Vol 10 n°4 pag. 345 - 1987

K.Math J.M. Toguri H.W. Smith " Electrostatic separation of aluminum from dross" Conservation & Recycling Vol 9 n°4 pag. 325 - 1986

L.Butterwick G.D. W. Smith " Aluminum recovery from consumer waste -1 Tecnology Review " Conservation & Recycling Vol.9 n°3 pag 292 1986

G.H. Nijhof " Aluminum separation out of household waste using the Eddy Current technique and reuse of the metal fraction" Resource, conservation and Recycling vol 10 pag 161 - 1994

Reynolds Metal Company " Aluminum Can Reclamation Method " U.S. Patent  
n°4,387,019 June 7 - 1983

M.B. Meyer " The effects of Packaging and Recycling Regulations on the Aluminum  
industry " JOM Journal of the Minerals Metals & Materials Society Vol 44 iss 12 pag26  
1992

F.W. Mohr " Aluminum Beverage can Recycling;" Recyclng International Vol.1 pag.  
668 K.J. Thomè Kozmiensky (Editor) - Berlin 1989

J.Kruger J..Reisener H.Vest " Aluminum and tin beverage cans in the material cycle "  
Recyclng International Vol.1 pag. 674 K.J. Thomè Kozmiensky (Editor) - Berlin 1989

Lega Per L'Ambiente " L'Ecosistema Rifiuti " Ulrico Hoepli Editore Milano 1991

V. Bernardi " Il Recupero per il Riciclaggio delle Lattine in Alluminio" Relazione attività  
consorzio COALA-RAIL

G. Regge " Lattina in alluminio, una piccola ricchezza " Inquinamento n°9 - settembre  
1993

Dati su Situazione Europea forniti da V. Bernardi per conto della ACRE (Association Can  
Recycling Europe)

K. Buxmann " Ecological aspects of the use of aluminium in cars, with particular regard to  
recycling techniques " Resource, Conservation and Recycling vol 10 pag 17 - 1994

R. Le Van Mao " Zeoliti aspetti di preparazione ed impiego " Tecnologie Chimiche marzo  
1981

G. Milazzo " electrochemistry " Elsevier Publishing Corp. London 1963

Bollettino prezzi Dic. 1995 Tecnologie Chimiche Dicembre 1997

## **INDICE**

<b>PARTE I</b>	
<b>LE PROBLEMATICHE AMBIENTALI CONNESSE ALLA CORRETTA GESTIONE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI E DEI RIFIUTI DI IMBALLAGGIO</b>	
I Rifiuti: Aspetti Generali	Pag. 4
Gli Indicatori Relativi ai Rifiuti Urbani	Pag. 6
La Produzione di Rifiuti Urbani in Europa	Pag. 7
Il Contesto Italiano – Le informazioni e i dati	Pag. 9
La legge 61/94 e il d.lgs 22/97	Pag. 10
I Rifiuti Solidi Urbani	Pag. 11
Produzione	Pag. 11
Lo Smaltimento degli RSU	Pag. 13
La Dinamica delle Raccolte Differenziate	Pag. 14
Gli Imballaggi e i Rifiuti di Imballaggio	Pag. 18
Il Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI)	Pag. 21
La Normativa sui Rifiuti Recuperabili e sulle <i>Materie Prime Seconde</i>	Pag. 22
Obiettivi della Tesi: Il Vetro e l’Alluminio Secondari - Motivazioni	Pag. 24
<b>PARTE II</b>	
<b>TRATTAMENTO DEL VETRO SECONDARIO ALTERNATIVO AL RICICLO CONVENZIONALE</b>	
Merceologia del Vetro	Pag. 28
Le Proprietà Chimico-Fisiche del Vetro	Pag. 30
Tecnologia e Condizioni di Efficienza nell’Industria Vetraria	Pag. 31
L’industria del Vetro in Italia ed in Europa	Pag. 32
Il Riciclo del Vetro: Attualità e Prospettive	Pag. 34
La Raccolta e il Recupero del Vetro in Italia	Pag. 35
<b>Parte Sperimentale</b>	
Introduzione	Pag. 42
Preparazione del Materiale di Partenza	Pag. 43
Preparazione dell’Estraente	Pag. 44

Conduzione delle Prove di Estrazione	Pag. 44
<b>Risultati e Discussione</b>	
Fase estraente	Pag. 46
Caratterizzazione della Polvere Residua	Pag. 48
Secondo Trattamento Estrattivo con Alkali Fresco	Pag. 48
Analisi Morfologica	Pag. 51
Proprietà Adsorbenti del Residuo inestratto	Pag. 54
<b>PARTE III</b>	
<b>TRATTAMENTO DELL’ SECONDARIO ALTERNATIVO AL RICICLO CONVENZIONALE</b>	
Merceologia dell’Alluminio	Pag. 59
Tecnologie di Produzione	Pag. 62
Proprietà e Caratteristiche Distintive dell’Alluminio	Pag. 65
Principali Impieghi	Pag. 65
Le leghe di Alluminio	Pag. 67
Raccolta dell’Alluminio Secondario	Pag. 71
Storia del Riciclo dell’Alluminio	Pag. 72
Caratterizzazione degli Scarti e loro Disponibilità	Pag. 73
Recupero dell’Alluminio dagli Scarti Secondari	Pag. 75
Recupero dell’Alluminio dai RSU	Pag. 75
Recupero/riciclo delle Lattine di Alluminio	Pag. 77
La situazione in Italia ed in Europa	Pag. 77
Il Processo di Riciclo delle Lattine	Pag. 79
Recupero di Alluminio dagli Autoveicoli	Pag. 81
Trattamento Alternativo – Presentazione	Pag. 84
<b>Parte Sperimentale</b>	
Introduzione	Pag. 85
Ottimizzazione dei Parametri di Reazione	Pag. 86
Scelta delle Condizioni Operative	Pag. 87
Conduzione delle Prove di Attacco Alcalino	Pag. 88

<b>Risultati e Discussione</b>	Pag. 89
<b>Risultati e Discussione</b>	
<b>Produzione di Idrossido di Alluminio in Alternativa a quella di Idrossialuminato</b>	Pag. 95
<b>PARTE IV</b>	
<b>CONCLUSIONI</b>	Pag. 97
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	Pag. 102
<b>INDICE</b>	Pag. 105