

VINYLPLUS E IL RICICLO DEL PVC: obiettivi, risultati, problemi, innovazione

di Carlo Ciotti

PVC Forum Italia

carlociotti@pvcforum.it

All'inizio del mese di maggio 2014, si è tenuto a Roma il secondo Vinyl Sustainability Forum. La scelta di Roma come sede del Forum è stata estremamente significativa per l'Italia, un riconoscimento delle capacità tecniche e innovative delle aziende oltre che dell'importanza socio-economica della nostra filiera di trasformazione, seconda per importanza in Europa alla sola Germania.

Nel corso del Vinyl Sustainability Forum 2014, che ha portato a Roma rappresentanti di aziende, istituzioni ed associazioni internazionali, si è discusso di temi legati allo sviluppo sostenibile dell'industria del PVC (uso sostenibile delle sostanze, dell'energia e delle risorse, sviluppo di schemi di raccolta e riciclo dei prodotti a fine vita, transizione verso una "circular economy", certificazione dei prodotti) ed è stato presentato ufficialmente il "Progress Report 2014", che riassume i progressi e i risultati di VinylPlus nel 2013 in ciascuna delle cinque sfide per lo sviluppo sostenibile individuate nell'Impegno Volontario dell'industria europea del PVC.

Per maggiori informazioni sul programma VinylPlus e sui risultati raggiunti si rimanda al Progress Report 2014 consultabile sul sito www.pvcforum.it e sul sito www.vinylplus.eu.

Molti degli interventi si sono concentrati su una delle sfide più difficili che l'industria del PVC ha deciso di intraprendere già all'inizio degli anni 2000 e cioè quella di ridurre l'uso di materie prime non rinnovabili attraverso un sempre maggior uso di PVC riciclato proveniente da scarti industriali o dal recupero o riutilizzo di articoli a fine vita.

L'obiettivo del programma VinylPlus sul riciclo può essere così riassunto:

- "recycle 800.000 tonnes/year of PVC by 2020";
- "develop and exploit innovative technology to recycle 100.000 tonnes/year of difficult-to-recycle PVC material by 2020".

Negli interventi sono stati particolarmente evidenziati i seguenti punti di forza e di criticità:

- 1) le priorità stabilite dalla UE nella gestione dei rifiuti che nell'ordine sono: riciclo e riuso, termovalorizzazione e, in assenza di soluzioni alternative, discarica;
- 2) il Reach ed il riciclo: il problema dei "legacy additives";
- 3) l'importanza dei prodotti contenenti materiale riciclato nei criteri del Green Public Procurement;
- 4) la sensibilità sempre maggiore della filiera europea del PVC verso il riciclo e la necessità di sviluppare processi innovativi per riciclare streams particolarmente difficili.

Quale disponibilità e il perché del riciclo

Innanzitutto prendiamo in considerazione quali sono le opzioni per la gestione di PVC post consumo o post industriali:

Invio in discarica: il PVC smaltito in discarica non comporta problemi a lungo termine per la salute e per l'ambiente; comunque l'invio in discarica rappresenta una perdita di materiale di valore che non è accettabile. Molte nazioni hanno limitato fortemente l'uso delle discariche.



Termovalorizzazione: il PVC ha un potere calorico di circa 19 MJ/kg, simile alla lignite e più alto di quello dei rifiuti solidi urbani (11 MJ/kg). Visto che le ultime tecnologie hanno fatto sì che la termovalorizzazione del PVC non fosse più un problema per l'ambiente e la salute (V.: <http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-14/issue-6/wmw-special/pvc-to-burn-or-not-to-burn.html>) oggi si può dire che l'invio del PVC a fine vita a termovalorizzazione darebbe un contributo positivo alla riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili per la generazione di energia.

Riciclo: la sempre maggior pressione sul riutilizzo dei materiali post-industriali e post-consumo ha comportato per il PVC di diversificare le soluzioni possibili per il riciclo:

- riciclo meccanico: soluzione tecnologica usata da decenni, in particolare per i flussi post-industriali riutilizzati di nuovo nelle produzioni di articoli in PVC in sostituzione di materiale vergine. Il riciclo permette quindi di ottimizzare le risorse e preservare le materie prime, riducendo le emissioni. Sono state messe a punto numerose iniziative utili per il riciclo meccanico di PVC post consumo;
- riciclo come feedstock: soluzione adatta per il riciclo di PVC ed in generale plastiche miste o contenenti materiali compositi. Il processo coinvolge un trattamento termico del PVC che si vuole riciclare con produzione di HCl e gas di sintesi (syngas), una miscela di H₂ e CO. Il primo può essere rimandato alla stessa linea produttiva del PVC stesso, mentre il syngas può essere utilizzato come materia prima per altre produzioni chimiche o come combustibile.

Per definire cosa si intende per "riciclato" riportiamo qui la definizione così come ripresa dal documento "PVC recycling technologies" di VinylPlus: "Recycled PVC is a discarded PVC product, or semi-finished products, that is diverted from waste for use within a new product; processing waste is included provided it cannot be reused in the same process that generated the waste."

Ma quale quantità di PVC è riciclabile?

Per calcolarla bisogna partire dalle seguenti definizioni valide per tutti i materiali:

Totale: il PVC rifiuto o sottoprodotto generato da tutti i settori applicativi;

Disponibile: il PVC rifiuto o sottoprodotto che è teoricamente disponibile (per esempio i tubi fuori servizio lasciati sottoterra sono nel totale ma non sono disponibili);

Collettibile: il PVC rifiuto o sottoprodotto che può essere purificato, reso disponibile e trasportato per il riciclo, a condizioni economicamente accettabili e tecnicamente fattibili.

È proprio il "collettibile" il riferimento quali-quantitativo sulla base del quale costruire per la filiera e per le singole aziende un programma di riciclo e per la pubblica amministrazione (PA) i criteri Ecolabel e GPP.

Le applicazioni ed il riciclo del PVC

Tra gli obiettivi del programma VinylPlus c'è quello di riciclare entro il 2020 almeno 800 mila t/anno di PVC. Queste dovranno essere recuperate dalle innumerevoli applicazioni in cui il PVC, grazie alla sua versatilità, ha trovato applicazione nei suoi cento anni di storia. In Fig. 1 è riportata la ripartizione delle applicazioni del PVC a livello mondiale.

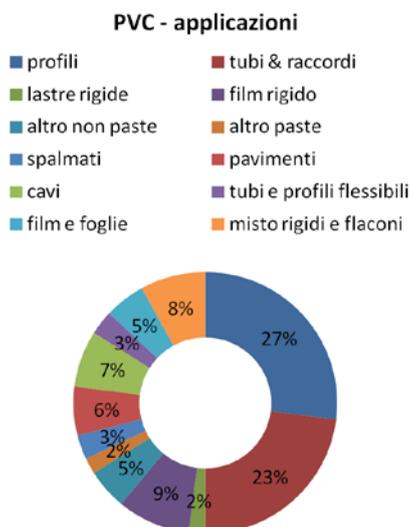


Fig. 1 - Ripartizione per settore applicativo del PVC trasformato a livello mondiale

In Europa i 2/3 del PVC prodotto è usato nelle costruzioni, come per esempio serramenti, tubazioni e cavidotti, pavimenti, cavi elettrici, membrane isolanti ed impermeabilizzanti ed altro ancora.

Tra gli altri settori importanti ricordiamo il settore packaging, il settore medico, il settore film e calandrati e il settore auto.

È stato stimato che il PVC è pari a circa lo 0,4% dei rifiuti provenienti dalle attività di costruzione e demolizione, mentre il PVC presente nei rifiuti solidi urbani è inferiore all'1% del totale.

Questa varietà di applicazioni ha reso e rende più complesso il riciclo e comporta la necessità di trovare soluzioni di riciclo differenti non solo a seconda del tipo di applicazione che si vuole riciclare ma anche a seconda del tipo di applicazione in cui si vuole riciclare.

Per questo sono state già messe a punto tecnologie innovative che potessero dare risposte positive alle necessità di chi ricicla e del prodotto che viene riciclato, e tante altre tecnologie innovative sono allo studio per ulteriormente migliorare qualità e quantità del riciclato.

Fortunatamente il PVC ha una posizione di vantaggio rispetto ad altri materiali; esso è infatti un materiale non solo meccanicamente riciclabile ma, anzi, può essere ripetutamente riciclato. Test di laboratorio hanno confermato che il PVC può essere riciclato anche più di 8 volte, infatti nel processo di riciclo la molecola polimerica del PVC sostanzialmente non riduce la lunghezza della sua catena e, quindi, non perde significativamente le sue caratteristiche prestazionali.

Il problema della gestione dei *legacy additives*

Il Regolamento Reach, non prende in considerazione i rifiuti che sono sottoposti alla sola Direttiva Rifiuti (Directive 2008/98/EC). Quindi non esistono vincoli, se non quelli della sicurezza dei prodotti e dei consumatori, se si resta all'interno della stessa Direttiva Rifiuti.

Però, se dopo un opportuno trattamento, il rifiuto viene messo in commercio come materia prima si esce dalla Direttiva Rifiuti, si deve applicare il Regolamento Reach ed il riciclato deve sottostare a tutte le fasi del Reach ed, in particolare, se le sostanze contenute nell'ex-rifiuto sono nella lista delle sostanze pericolose (annex XIV) sottoposte ad autorizzazione o sottoposte a restrizione (annex XVII).

Il Regolamento Reach, allo scopo di proteggere la salute umana e l'ambiente, ha definito la necessità di un processo di autorizzazione per permettere l'utilizzo di determinate sostanze, le SVHC, inserite nell'annesso XIV. Allo stesso tempo la "Guidance on Waste and Recovered Substances" considera a tutti gli effetti i riciclatori, con l'eccezione di quelli che producono un articolo direttamente dai rifiuti, dei "produttori" e di conseguenza li obbliga ad ottenere l'autorizzazione prima di immettere sul mercato prodotti riciclati contenenti le sostanze presenti nella lista di sostanze da autorizzare.

I rifiuti post-consumo di plastica, come ad esempio rifiuti dalla ristrutturazione o demolizione degli edifici, sono stati prodotti molti anni fa e possono quindi contenere quegli additivi che quando sono stati utilizzati erano conformi alle norme in vigore a quel momento ma che oggi sono, o lo possono essere nel futuro, sottoposti a restrizione o ad autorizzazione, i cosiddetti "legacy additives".

Una puntuale applicazione del Reach per i "legacy additives" può impattare in modo sostanziale e negativo sul riciclo, sottraendo quantità significative di materiali, tra cui anche le plastiche post-consumo pronte per essere riciclate ma che dovranno essere inviate a incenerimento, discarica o esportate in evidente contrasto con la regola fissata dalla UE che incoraggia il riciclo dei rifiuti allo scopo di salvaguardare preziose risorse non rinnovabili, diminuire la dipendenza dall'importazione di materie prime e ridurre/azzerare l'invio in discarica dei rifiuti.

Un confronto su quale sia il modo migliore per superare questa contraddizione è in corso tra le autorità competenti e VinylPlus/ECVM in rappresentanza della filiera europea del PVC, ma al momento non è stata indicata una soluzione. Soluzione che probabilmente sarà più chiara a conclusione del percorso autorizzativo del primo "legacy additive" sottoposto alla fase di autorizzazione, cioè il DEHP (di-2-etilossilftalato), un plastificante presente in molti rifiuti post-consumo del passato.

Le scelte che verranno fatte dovrebbero tenere conto anche del fatto che studi indipendenti effettuati su alcuni settori applicativi del PVC quali tubi e serramenti, hanno mostrato che i "legacy additives" eventualmente contenuti non vengono rilasciati ma restano legati fortemente nella matrice solida polimerica.

GPP: il riciclo, uno dei criteri di riferimento

Alle Olimpiadi di Londra, l'Olympic Delivery Authority (ODA) aveva definito tra i criteri di scelta degli articoli/prodotti in PVC anche l'esistenza di un "take back scheme" che potesse assicurare un riuso o riciclo a "loop chiuso".

Essendo state in grado di dimostrare sia le singole aziende sia la filiera l'esistenza di sistemi "closed loop" di riciclo e di riuso, il PVC è stato significativamente utilizzato in quelle Olimpiadi, come dovrebbe, per le stesse ragioni, essere utilizzato alle prossime Olimpiadi di Rio.

Sull'onda dei criteri fissati per Londra, oggi molte autorità stanno inserendo criteri di riciclo, per tutti i materiali e non solo PVC, nelle regole degli appalti pubblici attraverso la definizione di Green Public Procurements (GPP), che è definito nella Comunicazione "COM(2008) 400 Public procurement for a better environment" della EU come: "Green Public Procurement (GPP) is a process whereby public authorities seek to procure goods, services and works with a reduced environmental impact throughout their life cycle when compared to goods, services and works with the same primary function that would otherwise be procured."

L'obiettivo della Comunicazione è quello di produrre una linea guida su come ridurre l'impatto ambientale causato dai consumi del settore pubblico e su come usare il GPP può stimolare innovazione in tecnologie, prodotti e servizi ambientali.

A livello della Commissione Europea è stato indicato come obiettivo che entro il 2020 il 50% di tutti gli appalti pubblici dovrebbero essere "green", dove "green" significa "conforme ai principali criteri comuni per il GPP dell'UE approvati.

Anche il Ministero dell'Ambiente italiano ha sviluppato ha definito un "Action Plan for the environmental sustainability of consumption of public administration" (PAN-GPP).

Il Piano, adottato dal DM 11 aprile 2008 e aggiornato con decreto 10 aprile 2013, ha l'obiettivo di massimizzare la diffusione del GPP tra le amministrazioni aggiudicatrici, con l'obiettivo di:

- diffondere la cultura dell'innovazione ambientale sul mercato, e inviare un segnale al sistema di alimentazione, mantenendosi focalizzato sulla competitività;
- rispondere alle sfide globali di sostenibilità ambientale e agli impegni assunti a livello nazionale e internazionale (Kyoto, rifiuti, sostanze chimiche);
- cambiare l'atteggiamento negli acquisti, considerando il "Life Cycle Assessment" (LCA) di prodotti e servizi;
- diffondere l'approccio del Life Cycle Costing (LCC) e Life Cycle Thinking ("dalla culla alla tomba").
- efficienza e risparmio nell'uso delle risorse, in particolare dell'energia, riducendo così le emissioni di CO₂;
- ridurre l'uso di sostanze pericolose;
- ridurre la produzione di rifiuti.

I criteri sul riciclo nei GPP

I consumatori e le PA chiedono prodotti sempre più sostenibili e i prodotti certificati nel contenuto di riciclato avranno sempre più maggior valore, fino a poter essere venduti "meglio" di quelli prodotti con sola resina vergine.

A questo si deve aggiungere che le restrizioni sull'uso delle discariche o l'invio nelle discariche a costi elevati comporterà forzosamente la necessità di supportare maggiormente le attività di riciclo e la creazione di sistemi di collettamento e riciclo a "ciclo chiuso" (closed loop) per avere riciclati di qualità

Le competenti autorità italiane ed europee da diversi anni stanno definendo specifici criteri per GPP in cui insieme all'analisi del "ciclo di vita", all'uso di sostanze non pericolose e il ricorso sempre più a risorse rinnovabili è il riciclo uno dei principali criteri di riferimento.

Particolarmente complicata è la definizione di quanto possa essere il contenuto di materiale riciclato (sia scarti post-industriali che post-consumo) in un certo prodotto che dovrebbe essere definito in misura differente in funzione della tecnologia adottata per la produzione e della norma di riferimento per l'applicazione prevista, senza pregiudicare le caratteristiche. Un riferimento potrebbe essere la Circolare 4 agosto 2004 "Indicazioni per l'operatività nel settore plastico ai sensi del DM 203/2003".

Una gestione controllata del ciclo di vita

Secondo i principi della "Circular Economy" descritto "roadmap dell'Unione Europea per un'Europa efficiente nelle risorse e Action Plan per consumi e produzioni sostenibile", le imprese devono ri-pensare e ri-progettare i loro prodotti e processi per ridurre il consumo di materie prime ed energetico, per incrementare il loro tempo di vita e riutilizzarli e riciclarli il più possibile.

L'industria del PVC non fa eccezione e programmi come VinylPlus sono perfettamente allineati con la scuola di pensiero del "Do-more-with-less" ed ha creato, e continua a creare, sistemi di riciclo a ciclo chiuso (closed loop) definiti come "sistemi di produzione in cui vengono utilizzati i rifiuti o i sottoprodotti di un processo o di un prodotto per fare un altro prodotto".

Un esempio di schema di riciclo a loop chiuso che la filiera del PVC sta implementando è rappresentato nella Fig. 2.

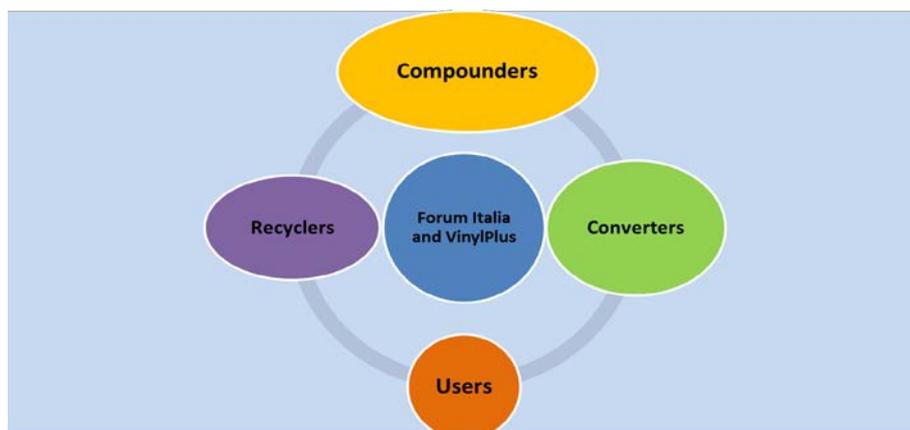


Fig. 2 - Schema di riciclo a "ciclo chiuso"

Come supporto VinylPlus per lo sviluppo di sistemi di riciclo a "loop chiuso", attraverso il coinvolgimento di un sempre maggior numero di aziende trasformatrici e il consolidamento di waste stream, è stato creato Recovynyl. A Recovynyl (www.recovynyl.com) è stato dato inizialmente l'obiettivo di facilitare la costruzione di sistemi di collettamento e riciclo, mentre ora ha il compito di consolidare e rendere disponibili una sempre maggiore quantità di PVC da riciclare, per soddisfare quella la domanda di PVC riciclato che essa stessa ha contribuito a creare.

Compito di Recovynyl è anche quello di certificare le tonnellate riciclate e quasi il 98% delle quantità riciclate nel 2013 sono state certificate proprio da Recovynyl.

Il riciclo come risultato dei programmi volontari della filiera del PVC

Seguendo le indicazioni prima del programma Vinyl 2010 ed oggi del programma VinylPlus, la filiera europea del PVC ha raggiunto risultati importanti di riciclo negli ultimi dieci anni in molti dei settori applicativi in cui viene utilizzato, così come riportato dal grafico di Fig. 3.

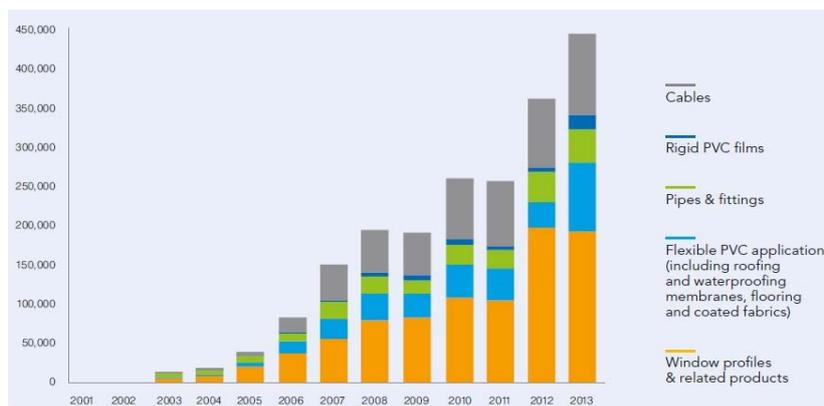


Fig. 3 - Ripartizione per applicazione del PVC riciclato nel periodo di attuazione del Programma Vinyl 2010 e dei primi 3 anni del programma VinylPlus

Le quantità totali riciclate nel 2013 sono state pari a 444.468 tonnellate.

Serramenti/profili finestra e cavi sono le due applicazioni che hanno dato il maggior contributo al raggiungimento di questo importante risultato. Inoltre è evidente anche l'incremento nel riciclo di alcune applicazioni flessibili, ciò ad indicare la continua evoluzione delle tecnologie di riciclo promossa dalla filiera del PVC all'interno del programma VinylPlus.

Il programma VinylPlus persegue l'obiettivo di riciclare 800 mila t/a per il 2020 e di queste, almeno 100 mila t/a dovranno essere prese tra le applicazioni difficili da riciclare. Questo richiede e richiederà innovazione nelle tecnologie e lo sviluppo di nuovi processi di riciclo.

Di seguito sono identificate le tecnologie utilizzate fino ad oggi per il riciclo del PVC post-industriale e post-consumo e indicate le tecnologie innovative che potrebbero essere utilizzate nel prossimo futuro.

La ripartizione delle 444.468 tonnellate di riciclato in Europa è mostrato nel seguente diagramma di Fig. 4.

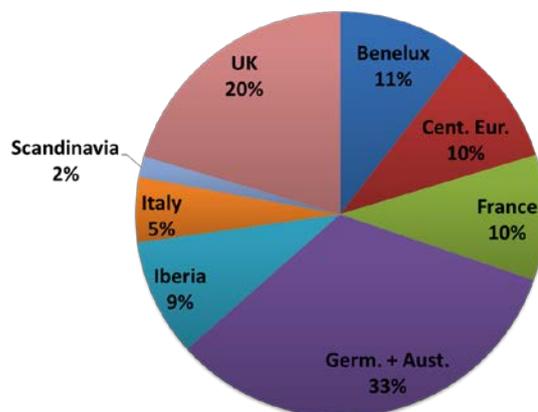


Fig. 4 - Ripartizioni percentuali per Paese europeo delle quantità di PVC riciclato nel 2013

Come si vede l'Italia, pur essendo il secondo Paese di trasformazione del PVC e pur essendo il Paese dove esiste il più innovativo impianto di produzione di riciclati in PVC (il Vinyloop a Ferrara), è tra le nazioni in cui il PVC viene meno riciclato.

Ma quali sono le ragioni di questo risultato non ottimale?

Tra i possibili motivi potrebbero esserci:

- 1) le difficoltà economiche e logistiche di collettamento dei rifiuti post-consumo su tutto il territorio nazionale;
- 2) i vantaggi economici dell'invio in discarica rispetto ai costi del riciclo;
- 3) i costi a carico delle aziende per "portare" i rifiuti negli eco-centri di raccolta, senza che venga incentivata la separazione dei vari materiali (per esempio plastiche dagli inerti nei rifiuti da demolizione).

Le ridotte quantità di post-consumo riciclate in Italia sono anche, e forse principalmente, dovute alla non disponibilità di alcune tra le principali applicazioni che alimentano il riciclo.

Come si evince dal diagramma di Fig. 3, il settore serramenti (windows profiles and related products) è quello che ha maggiormente contribuito all'ottimo risultato sul riciclo ottenuto.

In Italia, solo negli ultimi anni, i serramenti in PVC hanno avuto un significativo sviluppo, molto in ritardo rispetto alle altre nazioni europee (specialmente Germania, Austria e UK) e quindi, vista la loro elevata durabilità, i serramenti in PVC sono ancora nella fase di utilizzo e si può ipotizzare che solo nei prossimi 10-15 anni la loro sostituzione incrementerà significativamente le quantità messe a disposizione dei riciclatori.

Tecnologie e innovazione nel riciclo

Come precedentemente detto, ci sono due opzioni per il riciclo: il riciclo meccanico e il riciclo a feedstock.

Molte e differenti tecniche di riciclo sono attualmente disponibili e molte altre stanno per essere sviluppate.

Tra le tecnologie esistenti, è il riciclo meccanico quello più utilizzato e prevalentemente concentrato su singoli stream di riciclato più semplici da trattare e riutilizzare.

Tuttavia anche il riciclo meccanico è sottoposto a continui miglioramenti sia per ottenere materie prime più pure in PVC che nuovi prodotti/utilizzi.

Sono infatti state messe a punto nuove e diverse tecniche capaci di:

- separare il PVC da sistemi compositi alluminio/PVC e fibre/PVC;
- sviluppare nuove applicazioni per il PVC riciclato utilizzato in blending con altre plastiche, legno o cemento per nuove applicazioni.

Per approfondimenti su queste nuove tecnologie si rimanda al documento dal titolo "PVC recycling technologies" emesso da VinylPlus nel 2013:

http://www.vinylplus.eu/uploads/Modules/Publications/ok_brochure_pvc_14-03-2014.pdf

Prendiamo ora in considerazione quelle nuove tecnologie focalizzate sulla capacità di riciclare in modo economicamente sostenibile frazioni di post consumo miste e di difficile riutilizzo, suddividendole tra tecnologie di riciclo non convenzionali e come feedstock.

Anche su queste tecnologie sono disponibili maggiori informazioni collegandosi a:

http://www.vinylplus.eu/uploads/Modules/Publications/ok_brochure_pvc_14-03-2014.pdf

1) Tecnologie di riciclo meccanico non convenzionali - Il processo Vinyloop

Il processo Vinyloop® si basa sul principio della dissoluzione selettiva, mediante l'utilizzo di un apposito solvente chimico che porta in soluzione solo la frazione PVC dal resto del composito che viene trattato separatamente, di scarti provenienti da manufatti compositi in PVC a fine ciclo di vita, al fine di ottenere un compound di PVC con i componenti originali della formulazione utilizzata per la produzione dei manufatti che vengono riciclati.

Tale processo, mostrato in Fig. 5, si articola in diversi stadi:

- dissoluzione: un idoneo solvente, utilizzato in circuito chiuso, permette di portare in soluzione la frazione PVC separandola dagli altri componenti del manufatto;
- filtrazione: le contaminazioni residue ancora presenti nella soluzione (solvente + PVC) vengono rimosse in due stadi consecutivi:
 - una prima filtrazione attraverso un tradizionale filtro meccanico;
 - quindi un passaggio attraverso una decantatrice centrifuga che rimuove gli ultimi contaminanti;
- precipitazione: la soluzione (solvente + PVC) viene convogliata in un serbatoio dove viene immesso vapore ad alta temperatura per consentire l'evaporazione del solvente e la conseguente precipitazione del PVC in una soluzione acquosa (slurry). Il solvente evaporato, una volta condensato, viene inviato, in circuito chiuso, ad un serbatoio di stoccaggio per il suo riutilizzo nella fase di dissoluzione;
- essiccazione: dopo il recupero dell'acqua presente nello slurry, il PVC, ancora umido, viene convogliato ad un essiccatore.

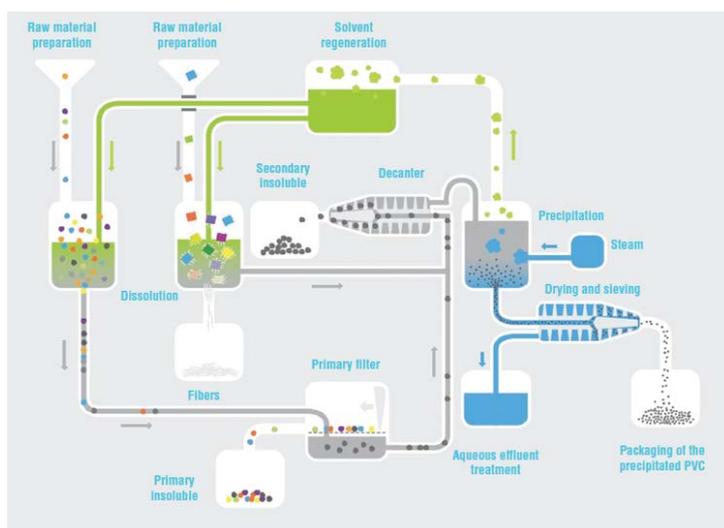


Fig. 5 - Il processo Vinyloop®

La sofisticata tecnologia consente pertanto di ottenere un PVC rigenerato, esente da contaminazioni estranee, che presenta caratteristiche paragonabili a quelle di un compound vergine (in termini di livello e costanza qualitativa), adatto ad essere utilizzato come materia prima in svariate applicazioni.

Il processo Vinyloop® conserva inalterate le proprietà fisico-chimiche del polimero di partenza, di conseguenza i manufatti prodotti con il PVC-R Vinyloop® possono a loro volta essere riciclati alla fine del loro ciclo di vita.

Il primo impianto al mondo che funziona secondo la nuova tecnologia è operativo a Ferrara.

Da sottolineare il processo Taxyloop®, che è un'estensione di Vinyloop® che permette alle fibre di poliestere, separate durante la fase di dissoluzione in solvente dal PVC, di essere riutilizzate. Lo schema di flusso del processo di riciclo è mostrato in Fig. 6.

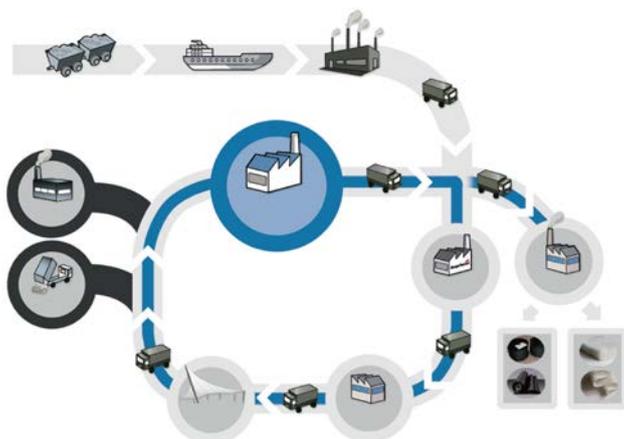


Fig. 6 - Lo schema di flusso del processo di riciclo Taxyloop®

2) Tecnologie emergenti di riciclo come feedstock

Permettono di recuperare il carbonio che è nel PVC in forma di sostanze o composti organici a basso peso molecolare che possono essere utilizzati come alimentazione ad altri processi chimici. In alcuni casi si può anche recuperare HCl e/o sali neutralizzati.

Ci sono tre tipologie di processi considerati "feedstock": gasificazione, pirolisi, deidroclorurazione.

a) Gassificazione

Reazione ad alta temperatura con bassa quantità di aria, ossigeno o vapore. Parte del polimero è convertito a CO₂ e parte a "syngas" che è usato come alimentazione a processi chimici di produzione di metanolo, ammoniaca, oxo-aldeidi o come combustibile. Il vantaggio di questo processo è che il cloro è quasi completamente liberato in soluzione acquosa, facilmente abbattuto tramite scrubber e purificato. Il

processo necessita di alte pressioni e alte temperature; quindi richiede investimenti significativi e su larga scala per poter operare in modo economicamente vantaggioso.

Di seguito alcuni schemi di flussi dei principali processi disponibili: il processo Sumimoto Metals (Fig. 7), il processo Ecoloop (Fig. 8) ed il processo Ebara (Fig. 9).

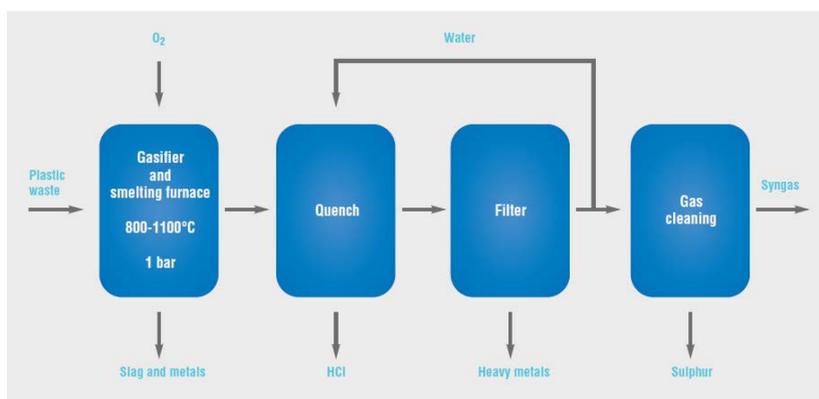


Fig. 7 - Schema di processo Sumimoto Metals

Unique features – chlorine binding mechanism

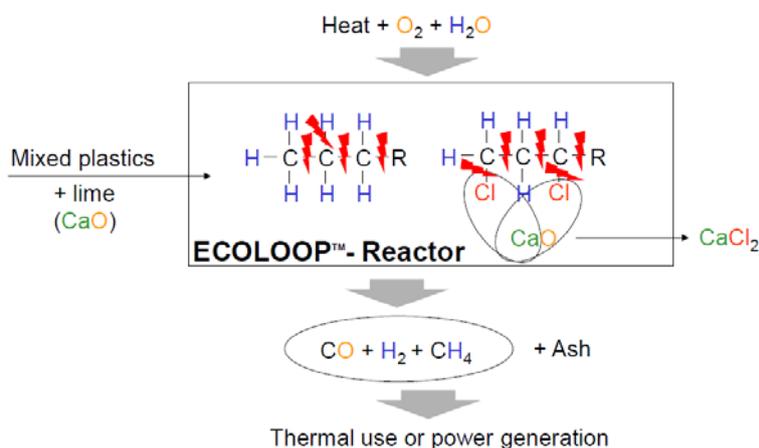


Fig. 8 - Il processo Ecoloop

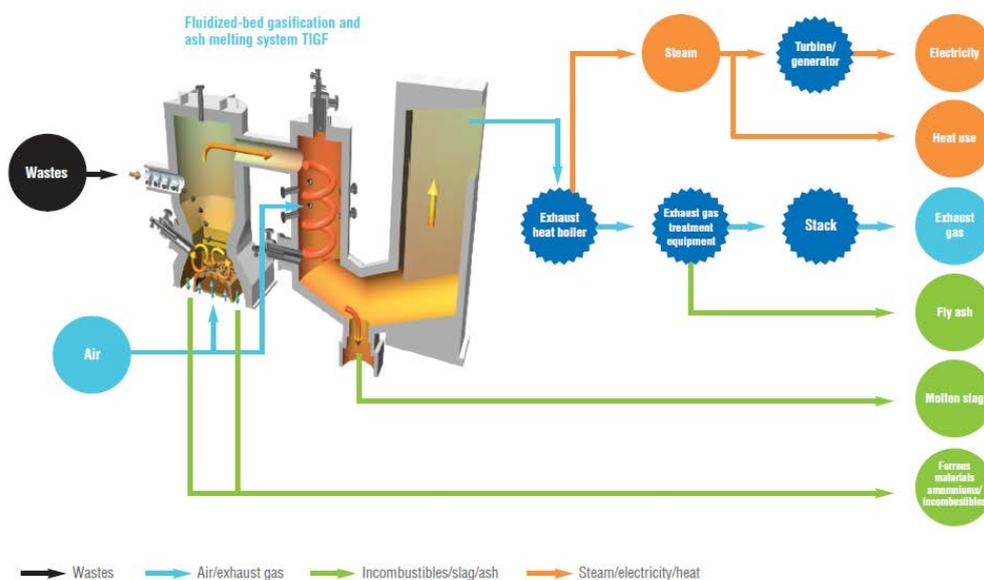


Fig. 9 - Il processo Ebara

b) Pirolisi

È un processo di decomposizione ad alta temperatura che avviene normalmente in assenza di aria o ossigeno. Produce residuo di carbone o idrocarburi pesanti. Il processo è utilizzato normalmente per convertire plastiche non alogenate, anche se la presenza di cloro crea delle opportunità.

In Fig. 10 lo schema del processo di pirolisi Dow/BSL.

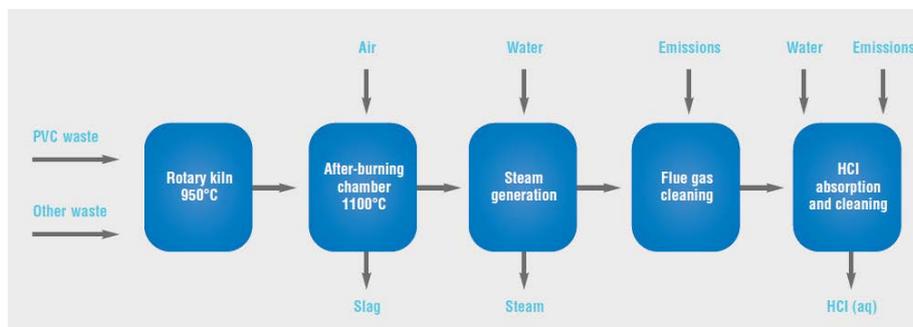


Fig. 10 - Schema di processo DOW/BSL

c) Deidroclorurazione

Questo metodo prevede una prima fase di blanda degradazione che rimuove il cloro e che può essere successivamente seguito da un processo di pirolisi o gassificazione. Il processo di de-idroclorurazione può avvenire in acqua sotto pressione, in un liquido ionico ad alta temperatura di ebollizione. Sono possibili anche altri processi "a secco" come il processo di fusione e di idrogenazione.

Di seguito due esempi: lo schema di deidroclorurazione in acqua Alzchem (Fig. 11) e quello a liquido ionico KU Leuven (Fig. 12).

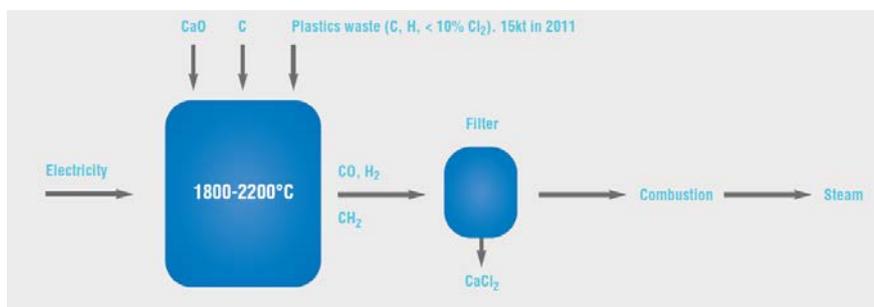


Fig. 11 - Schema di processo Alzchem

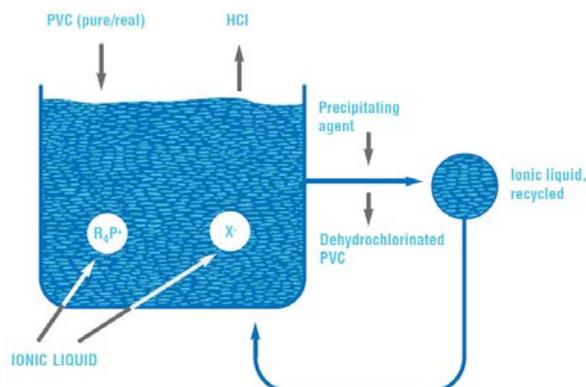


Fig. 12 - Schema di processo KU Leuven