

# **LA PRODUZIONE DI CAVI IN PVC: UN PASSATO ED UN FUTURO PER LE PMI ITALIANE**

**SICUREZZA, AMBIENTE E PRESTAZIONI A COSTI  
COMPETITIVI**

## Sommario

Diversi materiali plastici sono oggi usati come isolamento e guaina dei cavi elettrici o come sola guaina per quelli per telecomunicazioni.

Tra questi, il materiale plastico non solo più usato, ma anche in grado di garantire il miglior rapporto costi/prestazioni, elevata sostenibilità e assoluta riciclabilità, è il PVC (polivinilcloruro).

I punti di forza del PVC possono essere così sintetizzati:

- le sue proprietà elettriche ed isolanti
- la sua bassa infiammabilità evidenziata da formulazioni in grado di contribuire a non far propagare la fiamma e alla catramizzazione delle superfici soggette all'azione della fuoco
- la bassa capacità di propagazione della fiamma grazie alla presenza di cloro che, come gli altri alogeni, ha la capacità di rimuovere i radicali liberi costituenti la fiamma, frenando così il processo di combustione
- la sua durabilità, cioè alla capacità di mantenere inalterate le proprie prestazioni nel tempo
- la sua facile processabilità
- i suoi bassi costi di produzione
- la sua sostenibilità confermata da studi di LCA
- la possibilità di un suo reale riciclo in altri applicazioni.

In particolare per quanto riguarda i vantaggi del PVC nella prevenzione degli incendi è da evidenziare che:

- la presenza della componente alogena nella molecola polimerica rende per natura difficile che il manufatto in PVC prenda fuoco e inneschi l'incendio. Questa caratteristica può essere esaltata anche attraverso l'additivazione di determinate sostanze antifiamma e/o antifluo
- la difficoltà a prendere fuoco ed il suo limitato contributo in termini di sviluppo di calore, fa sì che il PVC non venga considerato tra i fattori che portano alla propagazione della fiamma
- il PVC non produce o produce un numero molto limitato di gocce infiammate o scorie ardenti
- il PVC rilascia meno CO ma rilascia HCl gas che è rilevato grazie al suo odore anche a concentrazioni ben al di sotto del livello di pericolo per la salute umana. Questo permette una immediata rilevazione dell'incendio fin dal momento dell'innesco e di conseguenza permette di anticipare qualsiasi intervento di spegnimento.

Ricordando che in caso di incendio il momento di maggior panico si ha nel momento in cui la persona vede grosse fiamme, tipiche della maggior parte dei prodotti alternativi, l'uso del PVC permette alle persone di evacuare l'ambiente in cui si sta sviluppando l'incendio prima che le fiamme assumano dimensioni significative.

Quest'ultimo punto è molto importante poiché vi è la generica ed infondata percezione che quando si è in presenza di un incendio, i cavi elettrici in PVC sviluppino maggiori gas tossici rispetto ai materiali alternativi. Studi scientifici dimostrano che questa ipotesi non è corretta, come per esempio dimostrato dalle conclusioni dell'indagine sull'incendio accaduto all'aeroporto di Düsseldorf.

Per quanto riguarda invece la sostenibilità del materiale PVC nelle formulazioni utilizzate per produrre il cavi, è importante considerare come tutta la filiera del PVC abbia operato negli ultimi 10 – 20 anni per rendere non solo le produzioni ma anche i prodotti sempre più sostenibili. Gli Impegni Volontari della filiera del PVC europea, Vinyl 2010 e VinylPlus, hanno permesso di sviluppare una nuova generazione di formulazioni in PVC oramai esenti da sostanze classificate come pericolose dal Regolamento Reach, e di mettere a punto tecnologie di riciclo, come Vinyloop, che permettono di riutilizzare il materiale riciclato anche in applicazioni ad alte prestazioni.

## 1. Introduzione

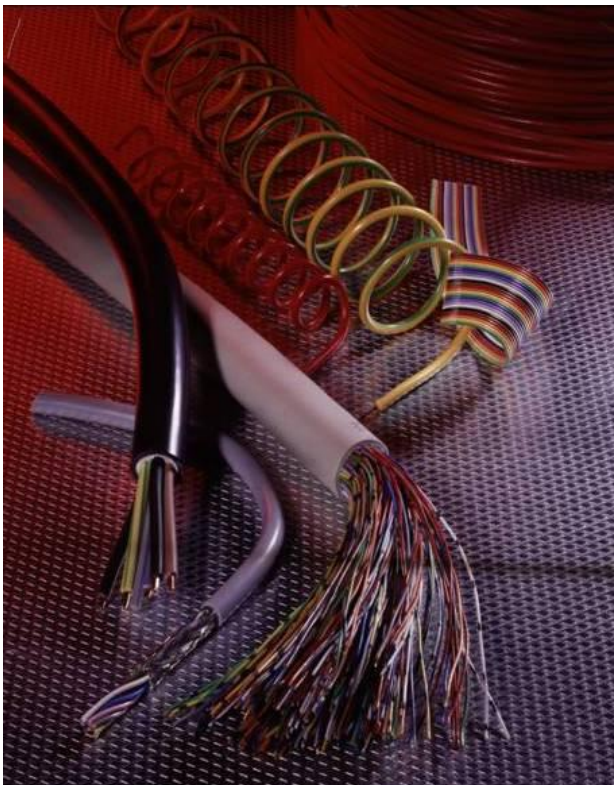
### 1.1 Un poco di Storia

Il primo cavo per trasporto di energia elettrica è stato impiegato in Europa nel 1890 per fornire corrente alle lampade per l'illuminazione stradale.

Questi primi cavi erano isolati con guttaperca, un materiale isolante al caucciù di cui oggi si è quasi perso il ricordo, e derivavano dai cavi telegrafici impiegati nelle comunicazioni.

Il percorso industriale dei dielettrici estrusi iniziato nel 1890, si interrompe successivamente quando questi vengono sostituiti dai dielettrici stratificati di carta e olio, che permettevano la realizzazione di cavi anche per le medie tensioni.

Una pubblicazione del 1900 descrive così i requisiti che doveva avere un cavo: "Resistente all'acqua oltre 100 anni, flessibile ed estensibile, così resistente alla tensione che il più sottile strato isolante con una costante dielettrica all'incirca quella dell'aria è sufficiente".



È curioso notare come questi requisiti siano rimasti praticamente gli stessi anche oggi, e rappresentino di fatto ancora adesso un obiettivo dei fabbricanti di cavi.

Non è un caso quindi che anche i primi cavi fossero economicamente soddisfacenti e di buona qualità, tanto che i vecchi cavi rivestiti con carta e olio si sono dimostrati in grado di raggiungere una vita utile di 50 anni e oltre.

Negli anni '30 lo sviluppo della chimica ha portato all'impiego dei polimeri come isolanti per cavi, e da allora sono state effettuate numerose sperimentazioni con le diverse materie plastiche; molte di queste si sono rivelate tecnicamente adatte all'isolamento dei cavi elettrici.

## 1.2 L'industria europea dei cavi elettrici

L'industria del settore cavi europea trasforma circa il 2% del totale dei polimeri ma incide per circa il doppio sul valore dell'industria.

I principali polimeri usati nei cavi sono il polivinilcloruro (PVC) ed il Polietilene (PE). Alternativa seppur in quantità limitate, è la gomma.

La crisi economica ha naturalmente influenzato la domanda in EU anche in questo settore; infatti a fronte di una domanda (in termini di materia prima trasformata in cavi) pari a circa 1,5 milioni di tonnellate nel 2007, nel 2011 la domanda si è attestata ad un valore di 1,1milioni di tonnellate.

Si prevede per i prossimi anni un trend leggermente positivo della domanda che comunque rimarrà ben al di sotto del livello del 2007.

Come indicazione, oggi sono presenti nella UE 27 oltre 350 impianti di produzione cavi e l'Italia è la nazione che, con il 20%, ha più impianti di trasformazione del settore.

Questo è confermato anche dal fatto che nel 2011 l'Italia continua ad essere ancora, insieme alla Germania, il paese europeo con la maggior domanda di polimeri per cavi, valutato in circa il 15% del totale EU-27.

## 1.3 Il PVC nei cavi

Come detto al paragrafo precedente il PVC nei cavi è utilizzato da sempre grazie ai suoi molti punti di forza che vedremo in dettaglio nei prossimi capitoli, e che possiamo sintetizzare in:

- buone proprietà elettriche ed isolanti su un ampio intervallo di temperature
- una intrinseca sicurezza al fuoco per la sua bassa infiammabilità, bassa (inibizione alla) propagazione della fiamma, moderato rilascio di calore
- eccellente durabilità con un atteso lungo tempo in uso
- caratteristiche per una facile processabilità
- efficienza nei costi
- riciclabilità.

Inoltre si può affermare che:

- i cavi in PVC rispettano le soglie ammesse di accettabilità della opacità dei fumi
- l'acidità dei fumi è ritenuto un problema solo per alcuni particolari settori applicativi, ma con un intrinseco vantaggio per le altre applicazioni in termini di sicurezza: grazie alla facilità di rilevare la presenza dell'incendio, riduce il tempo tra sviluppo della fiamma e rilevamento da parte delle persone con riduzione significativa dei tempi di intervento per lo spegnimento
- c'è in alcuni la percezione che, bruciando, i cavi in PVC sviluppino più gas tossici che le altre plastiche; l'incendio avvenuto all'aeroporto di Dusseldorf e i risultati analitici stanno a dimostrare che questo non è vero.

## 2. Impatto socio-economico del settore cavi in PVC in Europa ed in Italia

### 2.1 Trend e alternative di mercato

A fine anni '90, in Europa, il 65% dei cavi era fatto in PVC con un consumo di PVC calcolato nell'anno 2000 di circa 770.000 tonnellate, con la seguente ripartizione delle applicazioni:

APPLICAZIONE	TIPO	TONNELLATE
Cavi di energia in B&C e apparecchiature E&E	isolamento LV	228.000
	guaina LV	258.000
	isolamento MV	7.500
	guaina MV	30.500
	isolamento HV	7.500
	guaina HV	7.500
Telecomunicazioni	isolamento	76.000
	guaina	76.000
Automotive		68.500
Miniera		7.500
Varie		15.000

Una successiva verifica effettuata nel 2008 ha mostrato una diminuzione sia in percentuale, valutata intorno al 55%, che nel PVC utilizzato che è risultato pari a circa 690.000 tonnellate.

Nel 2009 i cavi rappresentavano il 7% del totale delle vendite di PVC polimero in Europa occidentale con un Market Share ancora superiore al quello del principale competitore, il PE con le sue varie combinazioni: LDPE, PE lineare, XLPE, HFPE e HFFR.

Nel 2011 il consumo di PVC nei cavi è stato stimato sempre superiore, anche se di poco, al PE con una quota vicina la 50% del mercato.

Il confronto tra PVC e le varie formulazioni PE indica che:

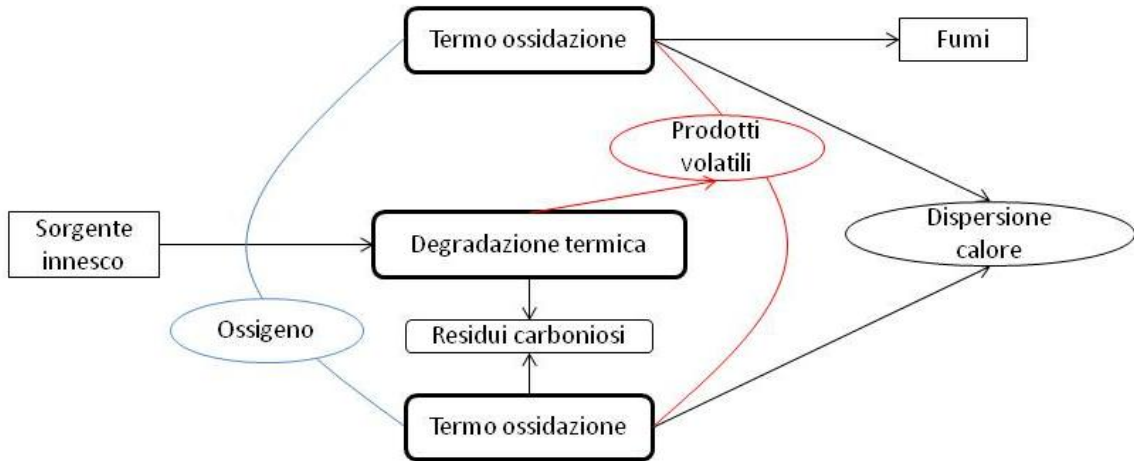
- 1) PVC usato per sistemi di energia e telecomunicazioni a bassa potenza
- 2) PE è utilizzato in cavi per telecomunicazione
- 3) XLPE (PE cross-linkato) è usato nei cavi di energia, maggiormente per media e alta potenza, ma anche per bassa potenza nel caso vengano richiesti materiali LSFOH (low smoke fume zero halogen).

### 3. Infiammabilità dei materiali

#### 3.1 Il comportamento al fuoco dei materiali

Il comportamento di un materiale al fuoco dipende da alcuni parametri e dal valore corrispondente del materiale stesso.

L'innescò e lo sviluppo di un incendio sono dovuti ad un processo di combustione complesso che può essere rappresentabile dallo schema seguente:



Come si vede dallo schema il “calore da una sorgente di innesco” produce nel materiale solido una “degradazione termica” ed una “termossidazione”.

La “degradazione termica” produce dei gas, “prodotti volatili”, che si mescolano con l’aria e, quando la concentrazione dell’ossigeno è all’interno dei limiti di infiammabilità e la temperatura al di sopra della temperatura di accensione, reagisce con un processo di “termo ossidazione in fase gas” con sviluppo di fiamme e “fumi”.

La “termossidazione” che avviene all’interno della matrice solida, per questo è detta “in fase condensata”, produce oltre ad un residuo carbonizzato anche altri prodotti volatili che reagiscono anch’essi con l’ossigeno con una termossidazione in fase gas.

Lo schema è di applicazione generale, ma alcuni stadi del ciclo come la carbonizzazione e la termo ossidazione in fase condensata possono essere assenti o poco rilevanti; questo dipende dal tipo di materiale e dalle condizioni della combustione.

La combustione procede fino a consumare completamente il materiale se il calore trasmesso dalla fiamma è sufficiente a mantenere la sua velocità di degradazione termica al di sopra del valore minimo richiesto per alimentare la fiamma stessa, altrimenti la fiamma si spegne subito dopo l’accensione.

Quindi, affinché inizi un processo di combustione sono necessari 3 componenti e due requisiti.

Componenti:

- **Il combustibile** - Influenza lo sviluppo della combustione in funzione delle sue caratteristiche intrinseche (struttura chimica, morfologia, proprietà chimico-fisiche) ed estrinseche (superficie, geometria, dimensioni).
- **L’ossigeno** - Necessario per fare avvenire la reazione chimica di ossidazione del combustibile e deve essere in quantità sufficiente nell’ambiente dove si sviluppa il fuoco.
- **L’energia** - Viene trasferita al combustibile attraverso irraggiamento, scintilla o fiamma. Per la propagazione dell’incendio è importante l’intensità e la durata della sorgente di ignizione oltre che la sua distanza dal materiale.

Requisiti:

- **Requisito stechiometrico** - È il giusto rapporto tra la sostanza che prende fuoco e l'ossigeno che agisce come comburente.
- **Requisito energetico** - Deve essere superato un livello energetico pari alla energia di attivazione del processo di combustione; questa energia può essere data fornendo calore fino alla temperatura di autoaccensione oppure tramite una sorgente di innesco esterna.

Un processo di combustione si può autoalimentare quando il calore fornito dalla sorgente di innesco si esaurisce o risulta trascurabile rispetto a quello trasmesso al materiale che sta bruciando dallo stesso processo di combustione; cioè quando il calore generato dalle reazioni di termossidazione in fase gas ed in fase condensata è sufficiente a sostenere il processo stesso.

### 3.2 Terminologia e parametri in gioco

Nella tabella seguente vengono elencati i principali parametri che influenzano l'innesco, lo sviluppo della fiamma e la sua propagazione, fino allo spegnimento dell'incendio, e la terminologia con la quale vengono generalmente chiamati:

- **Infiammabilità:** capacità di un materiale di entrare e permanere in stato di combustione, con emissione di fiamme durante l'esposizione ad una sorgente di calore
- **Innesco:** l'innesco è la condizione energetica necessaria perché la reazione di combustione abbia luogo. Oltre alla presenza di un materiale combustibile e di un comburente, affinché avvenga l'innesco è necessario che si sia in presenza di una fonte di calore (scintilla, fiamma, corpo caldo) che porti ad un livello di temperatura tale da superare l'energia di attivazione della combustione e provocare l'accensione
- **Flash over:** punto in cui l'incendio diventa generalizzato; l'incendio sprigiona fumi molto caldi, prodotti della combustione, che saturano l'ambiente, a causa dell'aumento della temperatura e della pressione (se in una stanza o luogo chiuso) raggiungono la temperatura di auto-ignizione ( $> 500\text{ °C}$ ) si auto-incendono anche in posizione distante dal focolaio iniziale
- **Velocità di propagazione delle fiamme:** velocità con la quale il fronte di fiamma si propaga in un materiale
- **Gocciolamento:** capacità di un materiale di emettere gocce di materiale fuso dopo e/o durante l'esposizione a una sorgente di calore
- **Post-incandescenza:** presenza di zone incandescenti dopo lo spegnimento della fiamma (es. brace) che potrebbero innescare nuovamente il fuoco
- **Sviluppo di calore nell'unità di tempo:** la quantità di calore emessa nell'unità di tempo da un materiale in stato di combustione
- **Produzione di fumo:** la capacità di un materiale di emettere un insieme visibile di particelle solide e/o liquide in sospensione nell'aria risultanti da una combustione incompleta in condizioni definite
- **Opacità dei fumi:** in alcuni casi, durante l'incendio o durante le operazioni di spegnimento, i fumi possono oscurare la visibilità. La velocità di rilascio dei fumi opachi può essere più importante della potenzialità di rilascio di fumi in quanto se emessi all'inizio dell'incendio possono rendere difficile se non impossibile la fuga



- **Produzione di gas nocivi:** capacità di un materiale di emettere gas e/o vapori in condizioni definite di combustione. Un incendio produce sempre una certa quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e altre sostanze tossiche che possono essere classificate come sostanze **asfissianti** o **irritanti**:
  - **sostanze asfissianti:** due esempi sono l'ossido di carbonio (CO) (particolarmente pericolosa perché è inodore) e acido cianidrico (HCN). Il livello di pericolo è definito dalla tossicità inerente (cioè il potenziale di tossicità) e dalla dose a cui una persona è esposta.
  - **sostanze irritanti:** un esempio è l'acido cloridrico (HCl). In questi casi il pericolo è calcolato sulla base del potere irritante della sostanza e della sua concentrazione nei fumi.
- **Indice di ossigeno (LOI):** definito come Limiting Oxygen Index, indica la concentrazione di ossigeno minima al di sotto della quale non avviene la combustione del materiale. Nel caso dei materiali per cavi:
  - LOI PVC rigido = 50%
  - LOI PVC plastificato = 21 – 36 %
  - LOI PE = 17%

Il PVC perché avvenga il processo di combustione necessita quindi di una concentrazione di O<sub>2</sub> maggiore di quella del PE per il quale la combustione può avvenire in presenza di ossigeno molto al di sotto della concentrazione presente nell'aria che respiriamo.

- **Degradazione termica:** avviene quando ad un materiale viene fornita una quantità di energia superiore all'energia di attivazione del processo di scissione dei legami chimici delle molecole che costituiscono il materiale. Tale energia di attivazione è una caratteristica del materiale stesso. È la rottura del legame chimico che provoca la formazione di specie chimiche con radicali liberi, quindi molto reattive, che continuano il processo di degradazione portando alla formazione di prodotti gassosi e/o di residui carbonizzati.

La relazione tra tali parametri ed il PVC ed il comportamento al fuoco del PVC viene di seguito spiegato e chiarito.

### 3.3 Il fuoco ed i suoi pericoli

Ricordiamo che l'incendio è un processo termico incontrollato che si sviluppa sempre dall'interazione dei seguenti 3 fattori necessari e sufficienti:

- un materiale combustibile
- ossigeno dell'aria
- una sorgente di calore sufficiente come per esempio una sigaretta o un corto circuito

L'incendio porta ai seguenti effetti e criticità:

- effetto termico: combustione
- effetto tossico: l'inalazione di fumi tossici può portare a perdita di conoscenza, asfissia fino alla morte
- effetti traumatici: fiamme e fumo causano panico e una sindrome di "psychological aggression"

Oltre agli effetti che hanno sulle persone e sulle proprietà, gli incendi hanno un negativo effetto sull'ambiente dovuto al rilascio di gas e fuliggine all'atmosfera con la loro dispersione nell'atmosfera e la deposizione di queste emissioni sul terreno, con contaminazione delle acque e del suolo.

In particolare sono rilasciate sostanze organiche complesse ed ambientalmente pericolose con effetti a lungo termine come le diossine, gli idrocarburi aromatici (PAH), i composti organici volatili (VOC) e le particelle di fuliggine. Queste hanno un maggior effetto a lungo termine rispetto agli altri gas tossici sviluppati quali CO (monossido di carbonio), HCN (acido cianidrico), HCl (acido cloridrico), acroleina.



È importante sottolineare che l'impatto sull'ambiente del HCl è molto limitato come evidenziato anche da un rapporto dall'Istituto di ricerca e di analisi Svedese che dice:

*"HCl is unique among common fire gases in that its concentration in the gas phase decays by reacting rapidly with most construction surfaces, which limits its transportation (...).*

*The data suggest that HCl is unlikely to have significant impacts on vegetation within the fire plume zone (...)"*.

Il PVC è stato accusato di emettere significative quantità di diossine in caso di incendio, ma questa affermazione deve essere vista nella giusta prospettiva e l'incendio avvenuto all'aeroporto di Düsseldorf nel 1996 ci è di aiuto: le analisi hanno evidenziato che il pericolo dovuto ai PAH è molto più elevato di quello dovuto alle diossine.

Questo è stato confermato da esperti come il Prof. Rotard, dell'Agenzia Ambientale tedesca (German Environmental Agency, UBA), che in una conferenza a Colonia sempre nel 1996 disse: *"To summarise, the cancer risk due to PAH's in fire residues and combustion gases must be regarded as far higher than the risk related dioxins"*.

È importante ricordare che tutti gli incendi che coinvolgono materiali organici (legno, carta, cartone, materiale vegetale, lana, cibo, ecc.) emettono miscele di gas tossici a sostanze organiche complesse quali gli idrocarburi policiclici aromatici, PAH e fuliggine, ecc. che vengono dispersi nell'atmosfera, nell'acqua e nel terreno. La formazione dei PAH e la loro proprietà cancerogene sono meno conosciute di quelli della diossina, ma le quantità prodotte sono molto più alte e con un molto maggior rischio per l'uomo e l'ambiente.

## 4. I vantaggi del PVC nella prevenzione incendi

### 4.1 Il comportamento del PVC durante un incendio

- **Innesco**

Se sono presenti i 3 fattori (combustibile-ossigeno-calore) necessari, inizia la degradazione termica incontrollata e quindi l'incendio.

*Come si comporta il PVC:* la presenza della componente alogeno nella molecola polimerica rende per natura difficile che il materiale PVC prenda fuoco e inneschi l'incendio.

- **Propagazione**

La combustione aumenta la temperatura dei materiali presenti nelle vicinanze che prendono fuoco quando e se raggiungono la loro temperatura di ignizione. A questo punto si ha la propagazione dell'incendio.

*Come si comporta il PVC:* il PVC difficilmente prende fuoco ed il suo contributo in termini di calore sviluppato è molto limitato. Quindi il PVC non è uno dei fattori che porta alla propagazione della fiamma.

- **Scorie ardenti**

La combustione distrugge il materiale che brucia e residui del materiale stesso possono cadere come:

- gocce infiammate
- scorie o tizzoni ardenti
- scorie inerti, come ceneri e materiale carbonizzato (charred material)

*Come si comporta il PVC:* il PVC non produce o produce un numero molto limitato di gocce infiammate o scorie ardenti.

- **Intumescenza**

La maggior parte dei prodotti combustibili producono cenere polverulenta, ma alcuni materiali mantengono la loro struttura solida.

*Come si comporta il PVC:* il PVC che brucia produce una struttura carboniosa chiamata intumescenza. Questa struttura forma una barriera termica che protegge la parte sottostante. In alcuni casi il PVC può anche arrivare a fermare la propagazione del fuoco.

- **Gas e fumo**

- Gli impatti del fumo sulle persone è dovuto a:
  - luce e visibilità ridotta che può limitare o anche precludere l'evacuazione.
  - effetti di gas irritanti o tossici che possono portare ad una riduzione delle capacità psicomotorie, mancanza di capacità a muoversi e infine anche alla morte (in più del 90 % dei casi le persone hanno respirato una quantità mortale di CO).

Ovviamente questi effetti sono legati non solo alla quantità e alla natura del fumo prodotto dal materiale ma anche alla velocità a cui questi materiali sono degradati. Un materiale che potenzialmente rilascia fumi densi e/o tossici ma che contribuiscono in modo molto limitato alla propagazione del fuoco può essere meno pericoloso del materiale che contribuisce in modo significativo alla propagazione delle fiamme.

In alcune condizioni il fumo può avere un effetto corrosivo ma questo effetto (salvo in pochi casi particolari) è di minor importanza rispetto ai danni totali causati dal fuoco stesso o dai mezzi usati per combatterlo.

*Come si comporta il PVC :* il PVC rilascia meno CO ma rilascia HCl gas che è rilevato grazie al suo odore anche a concentrazioni ben al di sotto del livello di pericolo per la salute. Questo permette una immediata rilevazione dell'incendio al momento dell'innesco.

Per quanto sopra riportato si può concludere che:

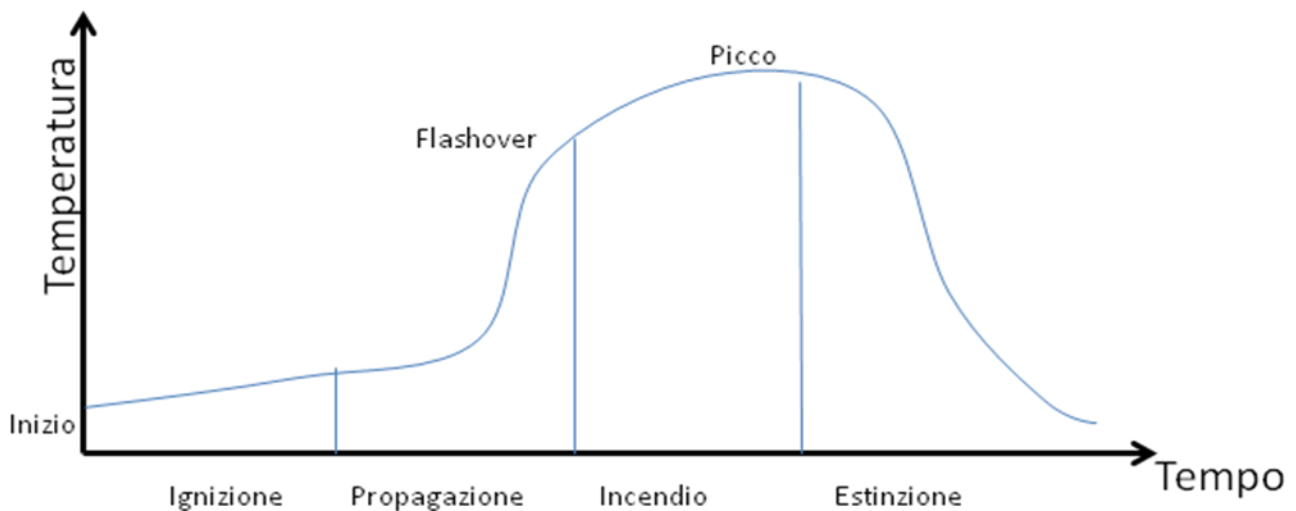
- il PVC ha una molto bassa capacità di prendere fuoco ed un basso calore di combustione
- grazie proprio alla presenza di un alogeno nella sua molecola polimerica, il PVC non contribuisce alla propagazione delle fiamme; questa capacità viene ulteriormente migliorata grazie all'aggiunta di idonei additivi; di conseguenza non permette al fuoco di propagarsi da una stanza all'altra
- il PVC smette di bruciare non appena la sorgente di calore viene rimossa
- il PVC carbonizza, ma non fonde, e quindi non forma gocce incandescenti o scorie infuocate che possono propagare l'incendio
- l'emissione di HCl gas già all'inizio, grazie al suo odore caratteristico e riconoscibile, agisce da "allarme" prima che l'incendio si propaghi a causa degli altri materiali presenti in vicinanza dell'innesco. Tale rilevazione immediata avviene ad una concentrazione molto bassa ben al di sotto della soglia di pericolo per la salute delle persone; l'HCl quindi non solo è molto meno pericoloso del CO, che è un gas "narcotico" senza odore che può portare rapidamente alla paralisi e alla morte, ma anzi può evitare le conseguenze letali del CO per le persone.

#### **4.2 I ritardanti di fiamma**

Secondo uno schema universalmente riconosciuto, lo sviluppo di un incendio avviene attraverso 4 fasi principali che coinvolgono la combustione di un materiale.

- **1° fase ignizione**, definito come il tempo necessario all'accensione della fiamma e all'inizio della combustione
- **2° fase crescita**, definito come il tempo di crescita della fiamma fino al Flash over ovvero il momento in cui la temperatura dell'ambiente cresce rapidamente e si ha il vero sviluppo del fuoco

- **3° fase sviluppo del fuoco**, le temperature sono altissime e il fuoco coinvolge tutto l'ambiente
- **4° fase propagazione dell'incendio** in altri ambienti o spegnimento dovuto all'esaurimento del materiale combustibile o ad un intervento esterno che abbassi drasticamente la temperatura dell'ambiente.



Gli additivi antifiamma sono attivi solo nelle prime 2 fasi dello sviluppo di un incendio.

Dopo il punto di flash over nessun materiale organico seppure additivato può resistere all'aumento delle temperature.

Secondo le definizioni proposte dal NIST Seminar (Washington DC, February 27-28, 2012) la famiglia di additivi antifiamma può essere a sua volta suddivisa in FIRE-RETARDANT e in FLAME-RETARDANT.

- **FIRE RETARDANT** sono quegli additivi i cui meccanismi si attivano a temperature più elevate rispetto ai Flame Retardant e che diminuiscono la velocità di combustione, diminuiscono la velocità di rilascio del calore e quindi ritardano il punto di flash over (sviluppo del fuoco)
- **FLAME RETARDANT** sono quegli additivi il cui meccanismo di funzionamento e la cui temperatura di attivazione sono tali da ritardare il punto di ignizione (aumentano il tempo necessario a far sì che si accenda la prima fiamma sul materiale)
- Inoltre esistono additivi che hanno sia delle proprietà di **flame retardancy** che di **fire retardancy**.

#### 4.2.1 I fire retardant

##### PVC.

Il PVC può essere considerato un fire retardant in quanto contiene il cloro.

È universalmente riconosciuto che i composti organici alogenati sono estremamente efficaci per quello che concerne il comportamento al fuoco. Gli alogeni presenti nei composti organici frenano la combustione perché sviluppano una serie di reazioni direttamente in fase gassosa che hanno come effetto la rimozione dei radicali  $O^\bullet$  e  $H^\bullet$  costituenti la fiamma stessa.

I composti alogenati R-X per effetto del riscaldamento si decompongono formando  $R^\bullet$ ,  $X^\bullet$  e attraverso reazioni di ricombinazione HX. L'acido alogenidrico (HX) reagisce e neutralizza i radicali  $O^\bullet$  e  $H^\bullet$  che essendo estremamente

reattivi sono i principali responsabili dei processi di pirolisi dei materiali organici e quindi della propagazione dell'incendio.

#### **Triossido di Antimonio ( $Sb_2O_3$ ).**

L'efficienza antifiamma dei composti organici alogenati viene significativamente aumentata dall'effetto sinergico del **Triossido d'Antimonio ( $Sb_2O_3$ )**. Agendo come un sorta di "catalizzatore", il triossido di Antimonio ( $Sb_2O_3$ ) favorisce la rottura dei legami C-X e la formazione di composti di antimonio diversamente alogenato (caratterizzate da legami Sb-X, Sb-O-X) e H-Cl estremamente efficaci nella rimozione dei radicali liberi in fase gassosa e pertanto particolarmente repressive della propagazione della fiamma.

A livello formulativo/sperimentale si è osservato che l'effetto di  $Sb_2O_3$  è particolarmente efficace nei primi phr (parti per 100 parti di PVC polimero) introdotti (da 2 a 3,5 PHR). Si osserva inoltre che oltre questo livello di additivazione, l'incremento dei phr di  $Sb_2O_3$  non si riflette in maniera proporzionale sul comportamento antifiamma del materiale. 7 phr possono essere considerati la soglia oltre la quale l'aggiunta in formulazione di  $Sb_2O_3$  non produce più effetto sulle performance antifiamma.

#### **Cloro-paraffina (a catena media).**

Nelle formulazioni in PVC il contenuto di alogeno può essere aumentato introducendo come plastificante secondario la **cloro paraffina** fino al suo livello massimo di compatibilità. La cloro paraffina introduce il cloro come elemento antifiamma e parzialmente contribuisce a modificare le caratteristiche di durezza e flessibilità del materiale. La parte paraffinica di questo plastificante secondario tuttavia contribuisce ad aumentare anche la parte combustibile del sistema, pertanto la cloro paraffina può essere considerata efficace solo in sostituzione di componenti "plastificanti" che bruciano più facilmente.

**Prima conclusione:** la combinazione PVC, cloro paraffina, triossido di antimonio permette di produrre materiali con caratteristiche di elevatissima resistenza al fuoco in grado di soddisfare i requisiti richiesti dalla maggior parte delle normative di riferimento fino ad oggi in uso.

#### **4.2.2 I flame retardant**

**Idrossido Magnesio:** a temperatura elevata  $> 300^\circ C$  si decompone disidratandosi endotermicamente. Pertanto si verifica:

- raffreddamento del substrato con conseguente rallentamento delle reazioni di pirolisi del polimero
- formazione di acqua che, in fase vapore, ha come effetto la diluizione nella fase gassosa del tenore di  $O_2$  (comburente)
- formazione di MgO che depositandosi sul polimero forma un sottile strato protettivo che (anche se con effetto limitato) rallenta lo scambio termico e di materia. (impermeabilità ai gas e ai fumi).

**Allumina tri-idrata:** a temperature superiori di  $190^\circ C$  sviluppa una reazione di disidratazione endotermica con effetti del tutto simili a quelli descritti sopra.

**Zinco Borato ( $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ ):** per temperature superiori a  $300^\circ C$ , lo Zinco borato idrato rilascia l'acqua di cristallizzazione endotermicamente. Tale reazione produce:

- raffreddamento del substrato con conseguente rallentamento delle reazioni di pirolisi del polimero
- il rilascio dell'acqua di cristallizzazione liberata come vapore diluisce il tenore di  $O_2$  in fase gassosa

- l'effetto del calore produce inoltre uno strato vetroso duro e compatto di  $B_2O_3$  sul materiale, che ha un effetto di isolamento termico, di riduzione della superficie di scambio polimero-ossigeno e di riduzione dell'emissione di particolati volatili dalla superficie
- infine con effetto meno marcato, in caso di miscela con altri alogenuri organici, il borato di zinco si decompone e reagisce con alogeni per formare  $ZnX_2$ ,  $ZnX$ ,  $H_3BO_3$  ( $X = Cl, Br$ ),  $BX_3$  in grado di coprire la superficie del materiale carbonizzato (char) e diminuire gli scambi con l'aria.

#### 4.2.3 Gli additivi sia flame retardant che fire retardant

**Additivi contenente fosforo - Esteri Fosforici:** gli additivi contenenti fosforo possono agire sia in fase gassosa che in fase condensata in funzione del comportamento termico degli stessi (volatilità dell'additivo o dei suoi composti di degradazione).

In fase gassosa il fosforo si ossida ( $P_4O_{10}$ ,  $P_2O_5$ ) e catalizza la ricombinazione dei radicali  $O^*$  e  $H^*$  estinguendo la fiamma.

In fase condensata (effetto maggiore) si trasforma in acido fosforico e poli-fosforico che sulla superficie del polimero modifica i processi di degradazione, accelerando la reazione di carbonizzazione. In questo modo si forma uno strato carbonioso compatto che, come nel caso del borato di zinco, produce un effetto di isolamento termico, di riduzione della superficie di scambio polimero-ossigeno, di riduzione dell'emissione di particolati volatili dalla superficie.

**Zinco Stannato e Zinco Idrossi-Stannato:** lo zinco stannato a temperature superiori a  $300^\circ C$  si decompone formando ossidi di Sn e Zn. Gli ossidi di stagno in combinazione con gli alogeni lavorano in fase gassosa producendo una serie di reazioni e di complessi alogenati molto simili a quelli osservabili nel caso dell'antimonio. Differentemente dal triossido di Sb tuttavia lo Zinco Stannato è un additivo antifiamma che può essere efficace anche quando non lavora in sinergia con gli alogeni. L'efficacia dei derivati dai soli ossidi di Sn è tuttavia minore di quella ottenuta dall'effetto sinergico. Lo Zinco stannato, come tutti gli additivi a base di Zn, è efficace in fase condensata perché produce un materiale carbonioso protettivo, il char.

#### 4.2.4 Le innovazioni possibili

Tra i sistemi che danno protezione superficiale presentano un certo interesse i nanocompositi polimero-silicati che sono un ibrido tra una fase organica (il polimero) ed una fase inorganica (silicato) dispersa nella matrice polimerica a livello nanoscopico. In presenza di una fonte di calore, danno luogo alla formazione di un rivestimento termicamente stabile sulla superficie del polimero che lo isola dalla fonte di calore o dalla fiamma.

Vi è inoltre un sempre maggior interesse verso tutti quei minerali complessi naturali che hanno le proprietà dei ritardanti di fiamma, come per esempio miscele di carbonati di calcio e magnesio e carbonati di magnesio idrati. Questi si comportano, in presenza di una decomposizione complessa endotermica, sostanzialmente come gli altri flame retardant precedentemente descritti.

### 5. Settori applicativi e caratteristiche prestazionali dei cavi in PVC

Come evidenziato nei precedenti capitoli il PVC può essere impiegato con successo per la realizzazione di qualsiasi tipo di cavo elettrico o cavi di trasmissione dati e segnali e può essere usato come isolante e/o guaina in numerosi campi:

- classici cavi elettrici per trasporto di energia a bassa e media tensione per abitazioni e uffici
- cavi telefonici
- cavi coassiali tv/computer/Hifi

- cavi per auto
- cavi per batterie e robotica
- cavi per trasmissione dati, Lan e IT.

Tutto questo è dovuto alla sua eccellente versatilità, che permette di soddisfare le caratteristiche tecniche più disparate. Di seguito vengono elencate le principali caratteristiche tecniche che distinguono il PVC dagli altri materiali concorrenti nel settore cavi:

**Processabilità** – facilità di estrusione anche con diversi tipi di vite, sia in modalità a compressione che a tubo (una tecnologia molto semplice e affidabile); reologia controllabile; Ottima produttività in termini di metri/ora di cavo estruso con benefici sulla produttività dell’impianto e quindi sui costi di produzione.

**Resistenza alle temperature** – range molto ampio da -40° fino a 125° nel settore automobilistico, grazie all’utilizzo di plastificanti e stabilizzanti diversi

**Resistenza agli agenti atmosferici** – buona resistenza ai raggi UV anche per formulazioni standard

**Resistenza agli idrocarburi** – per esempio olii e benzine.

**Autoestinguenza** – a differenza della maggior parte dei polimeri il PVC flessibile, come naturalmente il PVC rigido, è intrinsecamente autoestinguente anche senza che siano aggiunte consistenti di cariche minerali o additivi, cosa questa impossibile per le gli altri polimeri competitori

**Resistenza al fuoco** – il PVC può garantire un’eccellente resistenza al fuoco e allo sviluppo dell’incendio sia in termine di indice di ossigeno che di temperatura

**Isolamento** – il PVC presenta valori base della costante di isolamento intrinsecamente elevati che sono ulteriormente e facilmente migliorabili con l’aggiunta di cariche minerali.

**Riciclabilità o riutilizzo** – la gran parte del PVC per cavi, grazie anche della sinergia con il sistema di recupero del rame, viene riutilizzato, viene riciclato e tramite tecniche di macinazione e/o di solubilizzazione, riutilizzato sia nel settore dello stampaggio che nel settore dell’estrusione. Cosa questa non possibile con altri tipi di cavi come per esempio i cavi HFFR

**Coestrudibilità** – può essere coestruso a più strati con diverse caratteristiche che permette di raggiungere un ottimo rapporto costi/prestazioni

**Altre proprietà** dei cavi in PVC sono quelle comuni alle altre applicazioni del PVC tra le quali in particolare si ricordano: ottima flessibilità, trasparenza e facile colorabilità e leggerezza.

## 6. LCA dei cavi in PVC: consumi energetici ed alle emissioni di CO2

Nel 2005 l’Università di Catalogna ha condotto uno studio di Life Cycle Assessment in cui venivano confrontati il consumo di energia elettrica e le emissioni di CO2 dei principali materiali utilizzati nell’isolamento nei cavi elettrici:

**“Estimate of energy consumption and CO<sub>2</sub> emission associated with the production, use and final disposal of PVC, XLPE and PE cables”**

**Authors: Baldasano Recio, Jemenez Guerrero, Parra Navaez, Goncalves Ageitos**

La motivazione della scelta di questi due parametri era motivata dall’importanza del protocollo di Kyoto con la sua limitazione delle emissioni dei gas serra ed in particolare la CO<sub>2</sub> e con la promozione di una sempre maggior efficienza energetica.

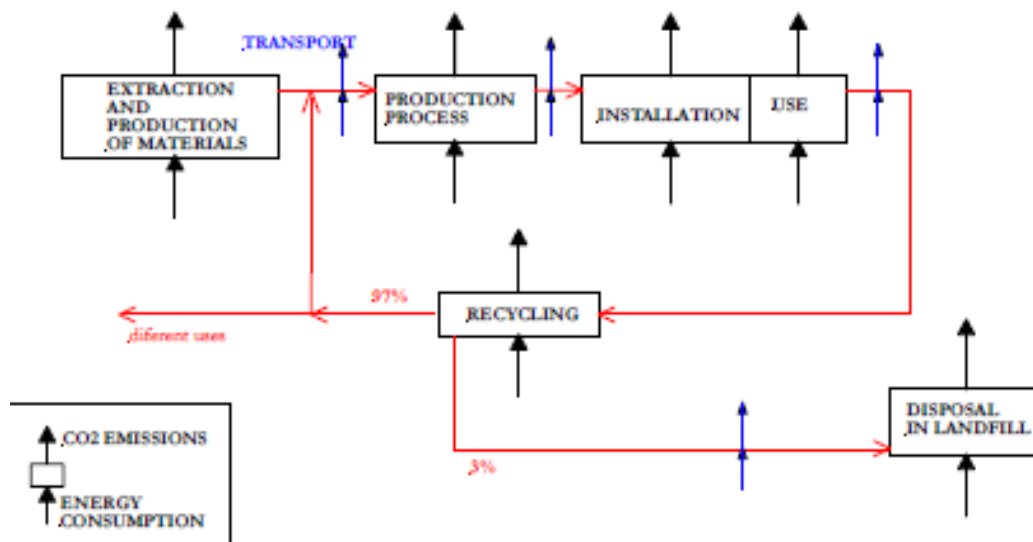
Nell’analisi sono stati presi in considerazione e confrontati consumi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> dovuti alla produzione, all’uso, al riciclo e allo smaltimento finale di cavi elettrici unipolari di rame a bassa tensione, utilizzati per aree residenziali e con isolante in PVC o XLPE (polietilene cross linkato) o HFPE (Halogen Free PoliEtilene). Per PVC e HFPE è stato valutato anche il caso in cui l’isolamento contenesse il 25% di riciclato.

Come unità funzionale, cioè l’unità di analisi di riferimento, è stato preso 1 metro lineare di cavo avente la stessa intensità elettrica massima e quindi una sezione dell’isolante diversa a seconda del tipo di materiale isolante usato; infatti, a parità di diametro del conduttore, il valore dell’intensità elettrica che passa nel conduttore dipende dalla capacità isolante del materiale usato per l’isolamento.

Sono stati sottoposti a valutazioni di Ciclo di Vita 5 diverse tipologie di cavi unipolari in rame:

- cavo in PVC con 86 A di intensità di corrente massima e sezione di 35 mmq
- cavo in PVC con 86 A di intensità di corrente massima e sezione di 35 mmq con il 25% di riciclato
- cavo XLPE con 96 A di intensità di corrente massima e sezione di 25 mmq
- cavo HFPE con 96 A di intensità di corrente massima e sezione di 25 mmq
- cavo HFPE con 96 A di intensità di corrente massima e sezione di 25 mmq con il 25% di riciclato

La metodologia usata in questo lavoro è stata basata sulla “contabilizzazione” dei consumi energetici e relative emissioni di anidride carbonica in ciascuna delle fasi del ciclo di vita dell’unità funzionale prescelta: estrazione e produzione delle materie prime, trasporto agli impianti di produzione, produzione dei cavi, trasporto ed installazione, uso, trasporto al riciclo e riciclo, trasporto in discarica e smaltimento, come da figura seguente:





È stata ipotizzata una vita in uso di 50 anni e le perdite di energia (effetto Joule) durante i 50 anni è stata calcolata sulla base della relazione  $Q = I^2 \times R \times t$ ; dove Q = l'energia persa, I = l'intensità elettrica, R = la resistenza del conduttore e t = tempo in uso.

I risultati in sintesi sono mostrati nella Tabella seguente:

1 m of unipolar cable	Nominal cross section (mm <sup>2</sup> )	Weight (kg m <sup>-1</sup> )	Conductor diameter (mm)	External diameter (mm)	Thickness of insulation (mm)	PVC cover (mm)	Energy consumption (kWh m <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> emissions (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	% variation of energy consumption respect to new PVC cable	% variation of CO <sub>2</sub> emissions respect to new PVC cable
PVC (25% recycled)	35	0,5	8,3	13,5	2,6	no	144	65	-0,1	-0,1
PVC	35	0,5	8,3	13,5	2,6	no	145	65	0,0	0,0
Halogen free PE (25% recycled)	25	0,3	6,6	9,0	1,2	no	198	88	37	35
Halogen free PE	25	0,3	6,6	9,0	1,2	no	198	88	37	35
XLPE	25	0,3	6,6	11,2	0,9	2,8	199	88	37	36

Energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and main characteristics of the cables taken as basis to the LCA.

Come si vede nella successiva tabella, per tutti i cavi sottoposti a valutazione, la più importante fase del ciclo di vita è quella dell'uso che indicativamente rappresenta il 95% del totale di energia consumata e delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Energy consumption (kWh m <sup>-1</sup> )	PVC	PVC (25% recycled)	XLPE	Halogen free PE	Halogen free PE (25% recycled)
Extraction and production of materials	2,3	2,2	1,7	1,3	1,3
Transport to production	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Transport to installation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Use	141,6	141,6	196,4	196,4	196,4
Transport to recycling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recycling	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Transport to landfill	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposal in landfill	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>144,5</b>	<b>144,4</b>	<b>198,6</b>	<b>198,2</b>	<b>198,1</b>

CO <sub>2</sub> Emissions (kg CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> )	PVC	PVC (25% recycled)	XLPE	Halogen free PE	Halogen free PE (25% recycled)
Extraction and production of materials	1,7	1,7	0,5	0,4	0,4
Transport to production	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Production	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Transport to installation	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Use	62,7	62,7	87,0	87,0	87,0
Transport to recycling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Recycling	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Transport to landfill	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposal in landfill	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>64,6</b>	<b>64,6</b>	<b>87,7</b>	<b>87,5</b>	<b>87,5</b>

In conclusione lo studio ha evidenziato:

- il cavo che presenta i migliori risultati in termini di consumo di energia ed emissione di CO<sub>2</sub> è quello isolato con PVC
- il peggiore cavo è risultato quello isolato con XLPE con circa il 37% in più di consumo di energia
- l'utilizzo del 25% di riciclato sia nell'isolamento in PVC che in quello in HFPE non incide sostanzialmente sulla riduzione dei consumi energetici
- il contributo al consumo di energia e alle emissioni di CO<sub>2</sub> è praticamente tutto concentrato nella fase d'uso.

## 7. Cavi in PVC, Reach e Marchio di "qualità e sostenibilità"

Valutare l'impatto che le sostanze chimiche possono avere sulla salute e sull'ambiente è oramai da molto tempo uno dei temi più importanti affrontati sia dall'industria che dagli organi competenti nazionali ed internazionali. Per questo è nato l'ormai famoso Regolamento Europeo REACH che vuole tutelare la salute e l'ambiente attraverso una sistematica valutazione delle sostanze, definendone allo stesso tempo le modalità d'uso.

Il REACH prevede che a livello europeo tutte le sostanze vengano non solo registrate ma anche valutate, e, se pericolose, sottoposte a specifica autorizzazione sulla base dell'uso previsto. Le sostanze potranno essere utilizzate solo se non pericolose, e se pericolose solo se opportunamente autorizzate per quello specifico uso. Per

questo il Regolamento costituisce una garanzia per i consumatori ma anche per l'industria, che non potrà più essere accusata di non essere sensibile all'ambiente e di utilizzare inutilmente sostanze pericolose.

È chiaro altresì che l'utilizzo di prodotti in PVC, realizzati con formulazioni in linea con il REACH, debbano essere considerati sicuri e sostenibili in termini di impatto ambientale e di salute dell'uomo, con la certezza che giunti a fine vita saranno riciclabili, e con la piena trasparenza della tracciabilità dei singoli componenti.

Oggi sono presenti sul mercato articoli in PVC che hanno seguito ed anticipato gli obiettivi del REACH, garantendo l'uso di sostanze che sono considerate "non pericolose" e che comunque non dovrebbero necessitare di particolari precauzioni per il loro uso. In particolare, ricordiamo che alcune aziende di produzione di compound in PVC per cavi elettrici aderenti all'associazione PVC Forum Italia hanno aderito al un Marchio di Qualità e Sostenibilità chiamato "Green PVC Compounds" di cui vengono mostrati Logo e criteri di adesione previsti dal Regolamento

#### LOGO E CRITERI DEL MARCHIO GREEN PVC COMPOUNDS



Marchio volontario di qualità e sostenibilità "Green PVC Compound", il cui uso è consentito solo per compounds in PVC che soddisfano i seguenti criteri:

##### Formulazioni

- non vengono intenzionalmente utilizzati stabilizzanti o altri additivi al piombo ed altri metalli pesanti quali Cd, Hg, Cr VI
- non vengono intenzionalmente utilizzati DEHP, DBP, BBP, DIBP
- non vengono intenzionalmente utilizzati le altre sostanze definite SVHC secondo il regolamento REACH presenti nella "Candidate List"

*NB: i limiti garantiti per le sostanze non intenzionalmente aggiunte e/o le impurezze presenti nelle materie prime utilizzate sono:*

- piombo e metalli pesanti = 100 ppm (0,01% in peso di metallo)
- DEHP, DBP, BBP, DIBP e altre SVHC = 1000 ppm (0,1% in peso della sostanza)
- il rispetto del "limite garantito" per una sostanza presente nella Candidate List (SVHC) è assicurato dopo 6 mesi dalla sua inclusione ufficiale nella lista

- Qualità: viene garantita l'idoneità dei compounds per la realizzazione di manufatti che rispettano le performance tecniche previste per ciascuna applicazione e l'impianto in cui vengono prodotti tali compounds è certificato ISO 9000

- Ambiente: la società che produce il compound a marchio ha ottenuto la certificazione ISO 14000 o, in attesa di ottenere tale certificazione, ha aderito al programma Responsible Care di Federchimica.

Può essere permesso l'utilizzo del Marchio a chi ha iniziato il percorso di certificazione ISO 14000 a fronte di una dimostrazione di aver effettivamente iniziato tale percorso.

- Produzione: oltre a rispettare tutte le normative esistenti, l'impianto mette in atto tutte le azioni necessarie a minimizzare il quantitativo di rifiuti da inviare a discarica e ad assicurare la sicurezza dei lavoratori.

#### Le nuove formulazioni dei cavi

Il PVC utilizzato nei cavi elettrici e di trasmissione è un PVC plastificato la cui composizione formulativa è indicativamente di seguito riassunta:

- PVC polimero: 100

- Carica: 0-50
- Plastificante: 30-60
- Altri additivi: 3-10

Dati in phr = parti per 100 parti di PVC polimero

Le formulazioni sono state e vengono aggiornate e migliorate nel tempo. E' da molti anni che la filiera del PVC, attraverso i programmi volontari (Vinyl 2010 e VinylPlus) ed il Regolamento Reach, è impegnata nella ricerca e nello sviluppo di nuove formulazioni allo scopo di garantire massima sicurezza e tutela dell'ambiente e della salute degli utilizzatori e dei consumatori. Di seguito illustriamo alcuni esempi:

Vecchia formulazione	Nuova formulazione
PVC	PVC
CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
MgCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>
DEHP	DIDP
Cloro paraffine e media catena	Cloro paraffine a catena media
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-	ESBO (olio di soia epossidato)
Stabilizzazione del piombo	Stabilizzazione a base di calcio (calcio/zinco o calcio organici)

Le nuove formulazioni, grazie alla assenza/riduzione di metalli pesanti portano ad una migliore capacità nel riutilizzo meccanico del materiale a fine vita ed ad una riduzione sia della quantità di rifiuti solidi prodotti durante l'incenerimento che della pericolosità eventuale degli stessi.

Anche gli utilizzatori di cavi elettrici possono oggi guardare al nuovo PVC (che possiamo denominare PVC 2.0) come un materiale che garantisce un alto livello di sostenibilità ambientale accoppiata ad elevate caratteristiche prestazionali.

I nuovi sviluppi formulativi hanno permesso di migliorare ulteriormente le caratteristiche prestazionali di resistenza al fuoco dei cavi in PVC permettendo di ottenere:

- un minor sviluppo di gas alogenidrici
- emissioni di fumi a più bassa densità ed opacità
- valori di LOI superiore al 36%

Rendendo ancor più il PVC come un materiale altamente idoneo per l'utilizzo nel settore cavi.

## 8. Il riciclo dei cavi in PVC

Possiamo dividere il riciclo dei cavi a fine vita in due streams diversi:

- quello che è sottoposto alle due normative europee: la normativa RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), conosciuta anche come WEEE (Waste Electronic and Electrotechnical Equipments), e la normativa ELV (End of Life Vehicles). In questo caso c'è un obbligo generico di recuperare e riciclare a fine vita le apparecchiature elettriche o elettroniche e i veicoli inviati a demolizione, anche se senza un obbligo esplicito per i "cavi" in essi contenuti.

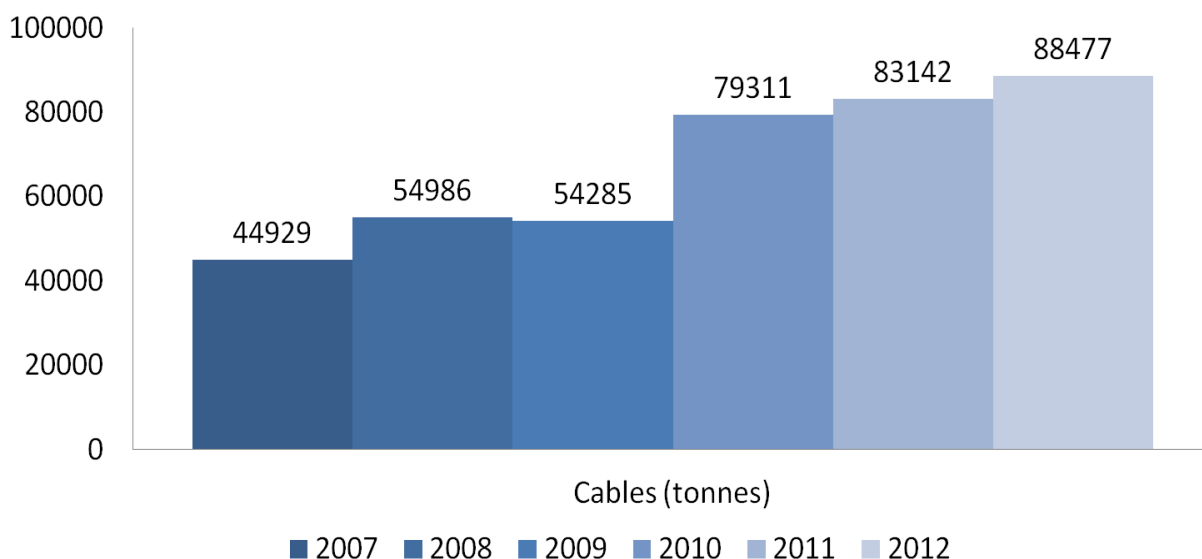
- quello che non sottoposto alle normative suddette, come per esempio i cavi usati per il trasporto di energia e per comunicazioni: sono riciclati da schemi di riciclo sostanzialmente sostenuti da iniziative private.

Con il primo programma volontario il Vinyl 2010, confermato poi con il secondo programma VinylPlus, l'industria europea si era posta l'obiettivo di promuovere il riciclo di manufatti a fine vita.

Per promuovere il riciclo di PVC a livello europeo è stata creata una società, chiamata Recovynil, con l'obiettivo di sviluppare e supportare schemi di raccolta e riciclo anche per il settore cavi.

Nel seguente diagramma è riportato il trend di crescita del riciclo di cavi in PVC da quando nel 2006 Recovynil ha iniziato le sue attività in questo settore.

**Recovynil: trend di crescita del riciclo di cavi in PVC**



E' importante sottolineare il contributo che il riciclo del PVC da cavi ha dato al raggiungimento degli obiettivi dell'industria europea; infatti la quantità di riciclato da cavi nel 2011, contabilizzata da Recovynil, è stata quasi il 25% del totale di PVC riciclato nello stesso anno.

Per la raccolta e riciclo dei cavi in generale in Europa viene stimato che nel 2010 il totale di isolanti per cavi riciclati è stato pari a circa 150.000 tonnellate di cui ben 100.000 tonnellate in PVC ed il resto da suddividersi tra gli altri materiali concorrenti.

I cavi a fine ciclo di vita vengono recuperati da riciclatori i quali, attraverso un procedimento di spelatura, separano il conduttore (in rame) dalla guaina e dall'isolamento (in materiali plastici). Il rame viene recuperato e riciclato in fonderia.

Per essere riciclato, la guaina e l'isolamento dei cavi elettrici, o la sola guaina dei cavi telefonici, dopo essere separata dal conduttore, viene sottoposta ad un procedimento meccanico di micronizzazione ed il PVC micronizzato viene venduto sul mercato per poter essere utilizzato in idonee applicazioni per la produzione di nuovi manufatti.

Accanto al tradizionale riciclo meccanico dell'isolamento e delle guaine in PVC dei cavi, va citato un procedimento più sofisticato, il processo Vinyloop®.

### **Vinyloop un processo di riciclo innovativo**

Le guaine di cavi a fine ciclo di vita in PVC, ancorché mescolato ad altri materiali quali residui di rame, fibre in poliestere, gomme od altri materiali plastici, possono essere riciclate attraverso il processo Vinyloop®.

Tale processo, che utilizza un brevetto realizzato dalle strutture di ricerca della multinazionale Solvay, consente appunto il riciclaggio di manufatti compositi in PVC, impossibili da trattare in altro modo, evitandone la messa in discarica o l'incenerimento, offrendo così nuova vita a risorse che rimarrebbero altrimenti inutilizzate.

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 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 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 viene convogliato ad un essiccatore per rimuovere l'acqua rimanente.

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 essere facilmente riciclati alla fine del loro ciclo di vita.

Vinyloop Ferrara S.p.a. - partnership tra SolVin (una joint venture Solvay-BASF) e Serge Ferrari SA - gestisce il primo impianto al mondo che funziona secondo la nuova tecnologia derivante dal brevetto succitato. L'impianto è in grado di trattare circa 10 mila tonnellate all'anno di rifiuti compositi in PVC post-consumo.

Un recente studio sull'Impronta Ambientale di Vinyloop®, sottoposto a valutazione critica da parte dell'organizzazione indipendente di analisi e certificazione DEKRA Industrial GmbH, ha valutato l'impatto ambientale del prodotto rigenerato, mettendo a confronto un chilogrammo di PVC-R VinyLoop® con un chilogrammo di PVC compound vergine.

I risultati dello studio sull'Impronta Ambientale dimostrano che la Domanda di Energia Primaria (Primary Energy Demand - PED) del PVC-R VinyLoop® diminuisce del 46% rispetto al compound di PVC vergine prodotto in modo tradizionale, il Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential - GWP 100a) è del 39% inferiore e il Consumo di Acqua è ridotto del 72%.

## **9 La classificazione dei cavi – dalla CPD al CPR**

Dal 2006 il settore cavi, con la sua introduzione nella **direttiva europea 89/106/CEE**, comunemente chiamata CPD (Construction Product Directive ) insieme a tutti gli altri manufatti utilizzati per le costruzioni, ha dovuto puntare all'introduzione di una nomenclatura a livello europeo che permetta la loro commercializzazione in tutta Europa usando standard analoghi.

Tra i principi della CPD vi è che i risultati dei test devono essere il più oggettivi possibili e che per gli aspetti antifiamma non occorre solo misurare le prestazioni relative alla resistenza al fuoco ma anche altre caratteristiche come per esempio l'opacità dei fumi emessi.

Nel 2011 con la emissione del Regolamento 305/2011/EU, la CPD è stata trasformata in CPR, Construction Product Regulation; in questo modo non ci sarebbe stata più la necessità che la classificazione, come le altre regole, fosse recepita dai singoli Stati Membri ma invece sarebbe entrata direttamente in vigore contemporaneamente in tutta Europa.

### **9.1 I riferimenti normativi per la classificazione di cavi**

La **direttiva 89/106/CEE** sostituita dal Regolamento 305/2011/EU, CPR, aveva l'obiettivo di assicurare che i prodotti da costruzione immessi sul mercato venissero costruiti o realizzati in modo che l'opera di costruzione nella quale sono integrati rispettasse alcuni requisiti ritenuti essenziali per la sicurezza, la salute e altre esigenze di ordine collettivo dell'utenza.

La Direttiva armonizzava quindi la classificazione dei materiali da costruzione, i metodi analitici di classificazione e la valutazione e la dichiarazione delle prestazioni attraverso:

- specifiche tecniche comuni
- attestati di conformità omogenei
- applicare omogenea del Marchio CE

La direttiva ha posto così anche le basi per l'armonizzazione dei sistemi di classificazione relativa alla "reazione al fuoco" per tutti i tipi di prodotti (cavi, carta da parati, soffitti, pavimenti, etc..).

Con la Decisione della Commissione 2006/751/EC è stata inserita nella CPD la classificazione al fuoco dei cavi elettrici "Euroclasses of reaction-to-fire performance for power, control and communication cables" che ha così introdotto sia una classificazione che una nomenclatura omogenea a livello europeo permettendo la loro commercializzazione in tutta Europa sulla base di standard analoghi. La nuova classificazione è di seguito riportata



## CLASSES OF REACTION-TO-FIRE PERFORMANCE FOR ELECTRIC CABLES

Class	Test method(s)	Classification criteria	Additional classification
A <sub>ca</sub>	EN ISO 1716	PCS ≤ 2,0 MJ/kg <sup>(1)</sup>	
B1 <sub>ca</sub>	FIPEC <sub>20</sub> Scen 2 <sup>(5)</sup> and	FS ≤ 1,75 m and THR <sub>1 200s</sub> ≤ 10 MJ and Peak HRR ≤ 20 kW and FIGRA ≤ 120 Ws <sup>-1</sup>	Smoke production <sup>(2)</sup> <sup>(6)</sup> and Flaming droplets/particles <sup>(3)</sup> and Acidity <sup>(4)</sup> <sup>(8)</sup>
	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	
B2 <sub>ca</sub>	FIPEC <sub>20</sub> Scen 1 <sup>(5)</sup> and	FS ≤ 1,5 m and THR <sub>1 200s</sub> ≤ 15 MJ and Peak HRR ≤ 30 kW and FIGRA ≤ 150 Ws <sup>-1</sup>	Smoke production <sup>(2)</sup> CI and Flaming droplets/particles <sup>(3)</sup> and Acidity <sup>(4)</sup> <sup>(8)</sup>
	EN 60332-1-2	H ≤ 425 mm	
C <sub>ca</sub>	FIPEC <sub>20</sub> Scen 1 <sup>(5)</sup> and	FS ≤ 2,0 m and THR <sub>1 200s</sub> ≤ 30 MJ and Peak HRR ≤ 60 kW and FIGRA ≤ 300 Ws <sup>-1</sup>	Smoke production <sup>(2)</sup> <sup>(7)</sup> and Flaming droplets/particles <sup>(3)</sup> and Acidity <sup>(4)</sup> <sup>(8)</sup>
	EN 60332-1-2	H" 425 mm	
D <sub>ca</sub>	FIPEC <sub>20</sub> Scen 1 <sup>(5)</sup> and	THR <sub>1 200s</sub> ≤ 70 MJ and Peak HRR ≤ 400 kW and FIGRA ≤ 1 300 Ws <sup>-1</sup>	Smoke production <sup>(2)</sup> <sup>(7)</sup> and Flaming droplets/particles <sup>(3)</sup> and Acidity <sup>(4)</sup> <sup>(8)</sup>
	EN 60332-1-2	H" 425 mm	
E <sub>ca</sub>	EN 60332-1-2	H" 425 mm	
F <sub>ca</sub>	No performance determined		

(1) For the product as a whole, excluding metallic materials, and for any external component (i.e. sheath) of the product.

(2) **s1** = TSP1 200 ≤ 50 m<sup>2</sup> and Peak SPR ≤ 0,25 m<sup>2</sup>/s

**s1a** = **s1** and transmittance in accordance with EN 61034-2 ≥ 80 %

**s1b** = **s1** and transmittance in accordance with EN 61034-2 ≥ 60 % ≤ 80 %

**s2** = TSP1 200 ≤ 400 m<sup>2</sup> and Peak SPR ≤ 1.5 m<sup>2</sup>/s

**s3** = not **s1** or **s2**

(3) For FIPEC20 Scenarios 1 and 2:

**d0** = No flaming droplets/particles within 1 200 s;

**d1** = No flaming droplets/particles persisting longer than 10s within 1 200 s;

**d2** = not **d0** or **d1**

(4) EN 50267-2-3:

**a1** = conductivity < 2,5 μS/mm and pH > 4,3;

**a2** = conductivity < 10 μS/mm and pH > 4,3;

**a3** = not **a1** or **a2**.

**No declaration** = No Performance Determined.

(5) Air flow into chamber shall be set to 8 000 ± 800 l/min.

FIPEC20 Scenario 1 = prEN 50399-2-1 with mounting and fixing as below

FIPEC20 Scenario 2 = prEN 50399-2-2 with mounting and fixing as below

(6) The smoke class declared for class B1<sub>ca</sub> cables must originate from the FIPEC20 Scenario 2 test.

(7) The smoke class declared for class B2<sub>ca</sub>, C<sub>ca</sub>, D<sub>ca</sub> cables must originate from the FIPEC20 Scenario 1 test.

(8) Measuring the hazardous properties of gases developed in the event of fire, which compromise the ability of the persons exposed to them to take effective action to accomplish escape, and not describing the toxicity of these gases.

Nel 2011 con il **Regolamento 305/2011/EU**, la direttiva CPD è stata migliorata e semplificata con una entrata in vigore automatica, senza necessità di recepimento a livello di Stato Membro, per le parti più importanti a partire dal 1 luglio 2013.

Inoltre, la Decisione della Commissione Europea definiva che la classificazione minima di un cavo dovesse dipendere dal tipo di applicazione e dalla localizzazione dello stesso e che questa classificazione minima dovrebbe essere definita dalle Autorità nazionali.

La definizione della minima classificazione è legata alla attuazione delle seguenti quattro condizioni:

- la definizione dell’Autorità Nazionale di riferimento,
- le Regole Nazionali che indichino quale classe è applicabile a quale applicazione
- siano emessi i relativi standard che, su mandato della Commissione Europea siano pubblicati sulla Gazzetta Europea (European Official Journal)
- le Autorità Nazionali abbiano definito l’Ente che come Parte Terza abbia il compito di certificare i prodotti.

Non è possibile oggi trovare sul mercato cavi classificati secondo le suddette Euroclassi.

Questo processo necessita di tempo, stante la necessità di varie consultazioni a vari livelli, la preparazione di un documento molto articolato e la pubblicazioni di un significativo numero di Standard di supporto.

Nella seguente table sono presentati gli Standard emessi o in via di emissione per una valutazione del comportamento dei cavi al fuoco

### NORME PER LA VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO AL FUOCO DEI CAVI

La reazione al fuoco oggi viene verificata mediante la norma EN 50399 che prevede la determinazione della propagazione della fiamma e di rilascio di calore con tre aspetti addizionali: opacità, acidità dei fumi e gocciolamento.

La norma EN 50399 non è una norma di prodotto e non contiene l’allegato ZA, quindi la procedura per la marcatura CE prevederà:

norma di prodotto (oggi progetto)	Pr EN 50575
norma di classificazione	EN 13501-6
norme europee di prova	EN ISO 1716 (rilascio calore) EN 60332-1-2 (propagazione fiamma) EN 61034-2 densità fumi EN 50267-2-3 (acidità fumi)

La resistenza al fuoco del cavo può essere definita dal tempo di mantenimento della prestazione prevista alla presenza di un incendio. Anche in questo si dovranno avere le stesse procedure previste per la reazione.

norma armonizzata di prodotto (oggi progetto)	Pr EN 50577
norma di classificazione	EN 13501-2
norme di prove	EN 50200 (resistenza fuoco piccoli cavi) EN 50489-4-16 (integrità per cavi telecomunicazioni) EN 50 opt (per cavi ottici)

## Conclusioni

Il PVC appartiene a quella classe di materiali organici che danno le migliori prestazioni in termini di comportamento al fuoco.

Esso infatti prende fuoco difficilmente, ha un basso calore di combustione e dà un basso contributo alla propagazione delle fiamme e questo grazie alla presenza di un alogeno nella sua molecola polimerica; queste caratteristiche vengono ulteriormente migliorate grazie all'aggiunta di idonei additivi. Il PVC carbonizza, ma non fonde, e quindi non forma gocce incandescenti o scorie infuocate che possono propagare l'incendio.

Il PVC inoltre contribuisce in modo poco significativo allo sviluppo di calore e smette di bruciare non appena la sorgente di calore viene rimossa; è quindi un materiale autoestinguente.

Le nuove formulazioni del PVC utilizzato nel rivestimento dei cavi hanno contribuito a migliorare le sue prestazioni nel comportamento al fuoco ed in particolare si è riusciti ad ottenere nuovi sviluppi formulativi che hanno permesso di migliorare ulteriormente le caratteristiche prestazionali di resistenza al fuoco dei cavi in PVC, come un minor sviluppo di gas alogenidrici e emissione di fumi a più bassa densità ed opacità; e inoltre di raggiungere valori di valori di LOI superiore al 36% che è il valore massimo ottenibile con il PVC plastificato.

L'emissione di HCl gas già all'inizio del fenomeno della combustione, a causa del suo odore caratteristico e riconoscibile, agisce da "allarme" prima che l'incendio si propaghi a causa degli altri materiali presenti in vicinanza dell'inesco.

Tale rilevazione immediata avviene ad una concentrazione di HCl molto bassa e ben al di sotto della soglia di pericolo per la salute umana. L'HCl non solo è molto meno pericoloso del CO, che è un gas "narcotico" senza odore che può portare rapidamente alla paralisi e alla morte, ma anzi può evitare le conseguenze letali del CO per le persone.

Infatti, l'uso del PVC quindi permette alle persone sia di evacuare l'ambiente in cui si sta sviluppando l'incendio prima che le fiamme assumano dimensioni significative che di intervenire immediatamente con gli interventi di spegnimento.

Il PVC recuperato dai cavi a fine vita viene riciclato attraverso tecniche di macinazione e/o solubilizzazione selettiva con successiva filtrazione affinché il PVC recuperato possa essere riutilizzato sia nel settore dello stampaggio che in quello dell'estrusione.

Il riciclo dei cavi in altri materiali risulta oltremodo difficile se non quasi impossibile.

Il PVC è infine un materiale che oltre ad essere facilmente lavorabile permette di ottenere cavi aventi un'ottima flessibilità, leggerezza ed una facile colorabilità e con ottima resistenza agli agenti atmosferici, ai raggi UV e agli idrocarburi.

In conclusione scegliere di produrre ed utilizzare PVC permette di ottenere cavi con elevate prestazioni tecnologiche e con ottima costante di isolamento, con una elevata resistenza al fuoco a cui si deve aggiungere un'alta sostenibilità legata ai minori consumi energetici ed alle minori emissioni di CO<sub>2</sub>, il tutto a costi altamente competitivi rispetto ai materiali concorrenti.