

INDICE

Capitolo 1: Premessa alla presentazione e percorso operativo

Capitolo 2: Materiale oggetto dello studio

Capitolo 3: Descrizione dei test condotti

Capitolo 4: Analisi dei risultati

Conclusioni

CAPITOLO 1

PREMESSE ALLA PRESENTAZIONE E PERCORSO OPERATIVO

Capitolo 1

Studio dell'effetto del riciclo sulle prestazioni meccaniche e di resistenza al calore anomalo (filo incandescente) di un PBT rinforzato con fibra di vetro, autoestinguente e modificato all'urto. (Presentazione dell'azienda partner bticino)

Le prove sperimentali, oggetto del presente lavoro, hanno avuto per scopo la determinazione delle proprietà di un materiale per stampaggio ad iniezione (PBT rinforzato 30% fibra vetro, autoestinguente con alogeni e modificato all'urto) vergine e riciclato attraverso macinazione.

Come ampiamente noto, l'effetto principale del riciclaggio meccanico, effettuato mediante macinazione con mulino, determina la frantumazione delle fibre di vetro, con conseguente progressivo decadimento del contributo delle stesse alla resistenza del materiale e quindi alle proprietà meccaniche del componente stampato per iniezione.

L'obbiettivo concreto delle verifiche era quindi fornire al progettista i dati necessari alla progettazione di un componente di sicurezza (schermo morsetti), la cui geometria non consente di evitare la necessità di riciclare, in continuo, una materozza avente un peso elevato e corrispondente al 50% del peso totale della stampata.

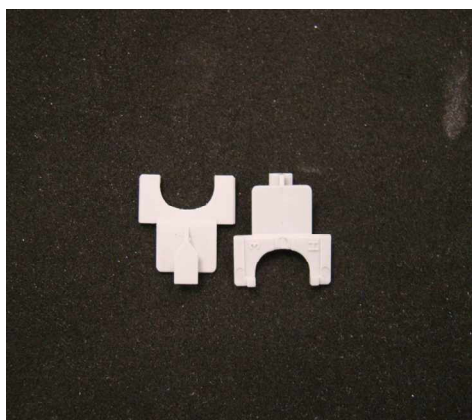
Oltre alle proprietà meccaniche è stato monitorato anche il viraggio di colore e l'eventuale decadimento della resistenza al filo incandescente del materiale, a seguito di ripetuti cicli di deumidificazione e stampaggio.

Mentre il viraggio di colore (ingiallimento) ha solo delle implicazioni estetiche sulla qualità del prodotto finito, un'eventuale perdita della resistenza al filo incandescente a 960°C determinerebbe un impatto normativamente non accettabile sull'utilizzo del componente.

Oltre alle implicazioni progettuali di cui sopra, nelle analisi di impatto ambientale o LCA (Life Cycle Analysis) è richiesta la conoscenza dell'effetto del processo di riciclo sulle caratteristiche meccaniche del materiale recuperato.

Lo studio in questione ci ha fornito gli elementi necessari alla classificazione del materiale oggetto dello studio.

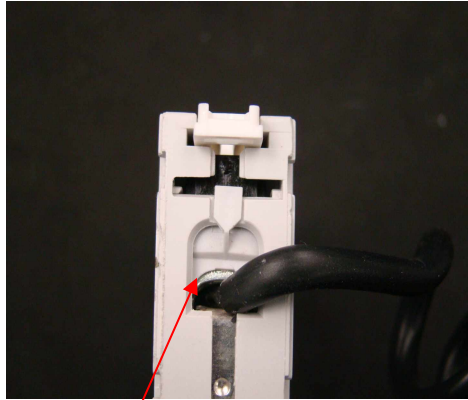
Il componente in questione è lo schermo di protezione morsetti utilizzato sugli interruttori magneto-termici BT DIN.



Schermo morsetti



Interruttore magnetico-termico



Protezione morsetto

Due piedini posti nella parte inferiore del pezzo vengono trascinati dal movimento della parte mobile del morsetto e devono garantire un'adeguata resistenza meccanica in fase di cablaggio degli interruttori.

Lo schermo deve a sua volta garantire un grado di isolamento elettrico IP20, nel caso di un conduttore di qualsiasi sezione serrato all'interno del morsetto.

In pratica, durante l'utilizzo dell'interruttore tale componente deve impedire la possibilità di un contatto fisico con le dita (dito prova) delle parti sotto tensione dell'interruttore (morsetti).

Finalità ed organizzazione del progetto

Finalità ed organizzazione sono state concordate tra la Bticino e il gruppo di studio del progetto Itis secondo l'esperienza dell'azienda in modo da rendere utile l'esame dei risultati ai fini di una realizzazione fattibile di un nuovo ciclo di produzione dal riciclo del materiale in oggetto.

Finalità

Determinare la modificazione delle prestazioni meccaniche, del colore e dell'autoestinguenza di un tecnopolimero semicristallino (PBT 30%FV, modificato urto e FR con alogeni) in funzione del numero di cicli di stampaggio cui viene sottoposto.

Determinare l'influenza dell'incorporazione di un'elevata percentuale di rimacinato (50%), proveniente dal recupero di materozze, sulle prestazioni meccaniche del compound.

Strutturazione dello studio

Sottoporre il compound semicristallino in esame (Valox 467 grigio 8233) a 6 cicli di stampaggio
Ad ogni ciclo di stampaggio isolare i seguenti provini:

- Spirale di fluidità da 2 mm
- Provini per prova trazione ISO 527-1
- Provini per prova urto Charpy ISO 179-1 e A
- Provini per prova glow wire spessore 1,6 mm, da utilizzare anche per la verifica del colore

Caratterizzazione campioni

Con un intervallo di almeno 24h rispetto alla data di stampaggio, verranno eseguite le seguenti verifiche sulle 9 campionature in esame:

- Verifica delle proprietà a trazione secondo ISO 527-1
- Verifica della spirale di fluidità da 2 mm secondo metodo Bticino
- Determinazione dell'indice di fluidità secondo ISO 1133
- Determinazione della temperatura di fusione secondo ISO 3146-85 metodo C2
- Verifica della resistenza all'urto Charpy con intaglio secondo ISO 179\1 e A
- Verifica del colore secondo BS6923 (DEcmc) e dell'indice di giallo secondo ASTM E313\98 (DYI)
- Verifica della resistenza al glow wire a 960°c su spessore 1,6 mm secondo IEC 60695-2-12

Analisi risultati

Lo stampaggio, le verifiche meccaniche, il DSC, il glow wire e le analisi colorimetriche verranno effettuati presso il laboratorio materiali Bticino

Le verifiche di MFR ed eventualmente la DSC potranno essere eseguiti presso l'ISIS

I risultati verranno interamente elaborati dagli studenti coinvolti nel progetto

CAPITOLO 2

MATERIALE OGGETTO DELLO STUDIO

Capitolo 2

Il materiale: PBT(polibutadientereftalato)

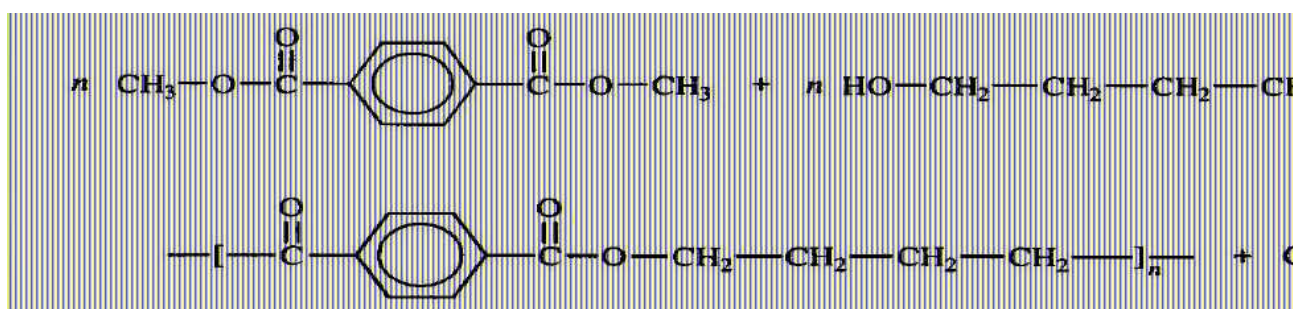
I monomeri per la sintesi del PBT sono l'acido tereftalico (acido 1,4 benzendicarbossilico) e il butandiolo.

I primi metodi di sintesi prevedevano un'ossidazione per mezzo di acido nitrico, il prodotto notevolmente impuro così ottenuto veniva poi convertito tramite una reazione di esterificazione a dimetil tereftalato che a sua volta veniva purificato tramite distillazione e successiva cristallizzazione.

Dal processo si rendeva così disponibile il dimetil tereftalato che poi veniva usato direttamente per la sintesi soprattutto di PET. Verso la fine degli anni cinquanta si è reso disponibile un nuovo processo di ossidazione che utilizzando ossigeno e catalizzatori a base di cobalto e manganese in presenza di acido acetico forniva acido tereftalico relativamente puro. Nello stesso periodo inoltre sono state messe a punto tecniche molto efficienti per la sua purificazione spinta, si è trovato il modo di eliminare i principali prodotti indesiderati ovvero acido para toluico e 4-carbossibenzaldeide attraverso un'idrogenazione catalitica seguita da una cristallizzazione in mezzi acquosi.

Un'altra via di sintesi, che è ancora in fase di sviluppo, prevede invece l'utilizzo, come materia prima, di anidride maleica o alcol allilico.

Sintesi del PBT



Il PBT viene prodotto con un processo in fuso, in due stadi ad alta temperatura.

Il primo stadio di polimerizzazione viene condotto, in presenza di catalizzatori a base di titanio, a pressione atmosferica a 150-220°C, fino a che circa il 90-95% della quantità teorica di metanolo viene distillata. Nel secondo stadio viene eliminato l'eccesso di BD sotto pressione ridotta (0.1-0.5 mbar) a circa 250°C. Per ottenere un PBT con un sufficientemente alto peso molecolare, con un giusto rapporto tra i gruppi terminali COOH/OH e buone proprietà in generale, occorre che l'intero processo di sintesi avvenga sotto uno stretto controllo delle condizioni operative.

Reazioni di degradazione dei poliesteri

Come noto i materiali plastici non hanno durata illimitata, ma manifestano processi di deterioramento di cui diamo una breve esposizione, considerata l'importanza relativa al materiale oggetto dello studio.

Il termine degradazione è usato per definire quei processi che comportano modifiche chimiche, d'entità anche limitata, il cui effetto è però rilevante sulle proprietà fisico-meccaniche caratteristiche del materiale. Le reazioni di degradazione possono accadere durante tutto l'arco della vita dei poliesteri, sia durante la loro produzione sia durante l'impiego del manufatto. Essenzialmente possono essere classificate come degradazione termica, degradazione termo-ossidativa, degradazione foto-ossidativa e degradazione idrolitica, in funzione dei meccanismi di reazione coinvolti.

Degradazione termica

I poliesteri aromatici subiscono degradazione termica, specialmente alle alte temperature utilizzate nella policondensazione e durante la lavorazione del polimero.

Le reazioni di degradazione termica portano ad una riduzione del peso molecolare ed alla formazione di nuovi gruppi terminali e/o a sottoprodotti di basso peso molecolare.

La principale reazione coinvolta nel processo è la β -scissione. Tale reazione consiste nell'estrazione di un idrogeno legato all'unità metilica in posizione β rispetto al gruppo carbonilico, con conseguente rottura del legame O-CH₂. Questa rottura porta alla formazione di un gruppo terminale -COOH e di uno CH₂=CH- (figura 1.12)

Il processo di β -scissione è comune a tutti i poliesteri tereftalici. Le reazioni di degradazione che seguono sono invece funzione del numero di gruppi metilici nella sequenza alifatica.

Foto-degradazione

L'esposizione dei polimeri commerciali alla luce del sole è stata riconosciuta come un altro importante fattore nella degradazione polimerica,³⁶ che in questo caso prende il nome di foto-degradazione. L'energia dei fotoni componenti la luce del sole è sufficiente per portare alla rottura dei legami chimici. La degradazione inizia apparentemente per rottura del gruppo estere e successiva liberazione di monossido di carbonio o anidride carbonica, in funzione del punto in cui avviene la rottura del legame, e formazione di radicali che possono estrarre un idrogeno in qualsiasi altro punto del sistema. Evidenze sperimentali hanno rivelato inoltre la presenza vinilici nei materiali foto-degradati, questo suggerisce che il processo di decomposizione del gruppo estere può avvenire portando alla formazione di gruppi carbossilici e vinilici.

I più comuni additivi utilizzati per limitare tale tipo di degradazione sono ad esempio gli idrossibenzotriazoli, i quali agiscono in modo tale da assorbire le radiazioni UV e dissipare l'energia assorbita sotto forma di calore.

Proprietà caratteristiche del PBT

Proprietà di resistenza al calore (transizioni termiche)

I poliesteri tereftalici sono caratterizzati dall'essere materiali semicristallini. La temperatura di fusione (T_m) e la temperatura di transizione vetrosa (T_g) del PBT sono inferiori rispetto a quelle degli altri poliesteri, per questo tale polimero può essere lavorato a temperature inferiori rispetto agli altri due poliesteri. Circa il 95% del PBT è processato attraverso lo stampaggio ad iniezione, che richiede una bassa viscosità in fuso in modo da poter permettere un facile riempimento di sezioni sottili e cavità complicate.

Il PBT commerciale fonde a 222-232°C in funzione del modo con cui si prepara il campione e dal grado di ricottura. Le resine di PBT contengono meno impurezze in quanto i principali sottoprodotti sono volatili e non contaminano il prodotto finale.

Proprietà meccaniche

Il PBT ed il PET sono materiali molto resistenti, infatti non mostrano rotture alle prove Izod di impatto fino a temperature di -40°C. La resistenza all'impatto cresce con il peso molecolare. Essi mostrano anche un ottimo comportamento sotto carichi sia statici sia dinamici. Sottoposti a test di creep e fatica, questi polimeri, resistono ad una forte deformazione ed ai cedimenti per lunghi periodi di tempo, anche sotto alti stress. Per quanto riguarda i polimeri stampati il poliestere, in particolare, ha ottima resistenza alla tensione e alla flessione anche se, rispetto al PBT, mostra meno resistenza all'impatto a causa dell'inferiore duttilità.

La superficie dei poliesteri tereftalici stampati è lucente, dura e resistente. Questi materiali mantengono anche un'eccellente stabilità dimensionale alle alte temperature.

Proprietà elettriche

Il PBT mostra in modo particolare buone proprietà elettriche anche quando questo materiale è esposto all'umidità a diverse temperature. La sua natura meno polare, rispetto agli altri poliesteri, lo rende meno sensibile all'assorbimento di impurezze, per questa ragione ed anche per le buone proprietà meccaniche il PBT ha trovato innumerevoli applicazioni nel campo elettrico.

Applicazioni

Il PBT, che è un termoplastico, presenta alta resistenza ai reagenti chimici, notevole stabilità alle alte temperature, notevole stabilità dimensionale, buona durezza e lucentezza superficiale. Questo polimero ha trovato la sua maggiore applicazione nel campo dei materiali a stampaggio di precisione per le parti elettriche ed elettroniche, per oggetti di uso domestico e negli uffici e per parti di automobili. Alcuni esempi sono i porta guaine isolanti, le ruote dentate, le ruote dei ventilatori, i copri condensatori, le scatole delle spine e i porta lampade. La ragione per cui il mercato del PBT, per quanto riguarda i suoi impieghi nelle parti elettriche ed elettroniche, sia in continua crescita risiede nelle sue ottime proprietà elettriche e meccaniche, che si mantengono stabili a diverse temperature e gradi di umidità. La General Electric Plastics (IP) è il maggiore produttore industriale di PBT e lo commercializza con il nome VALOX 467 grigio 8233 che è il materiale oggetto dello studio.

CAPITOLO 3

DESCRIZIONE DEI TEST CONDOTTI

Capitolo 3

Diamo ora una spiegazione dei “test” che abbiamo eseguito in accordo con l’azienda e le nostre conoscenze. Questi dati saranno poi analizzati per elaborare una conclusione ai fini della fattibilità del progetto.

Calorimetri Differenziale a Scansione



calorimetro differenziale

La **calorimetria differenziale a scansione**, nota anche con l'acronimo **DSC** (dall'inglese *differential scanning calorimetry*) è la principale tecnica di analisi termica utilizzabile su un ampio range di materiali: dai polimeri ai metalli alle ceramiche.

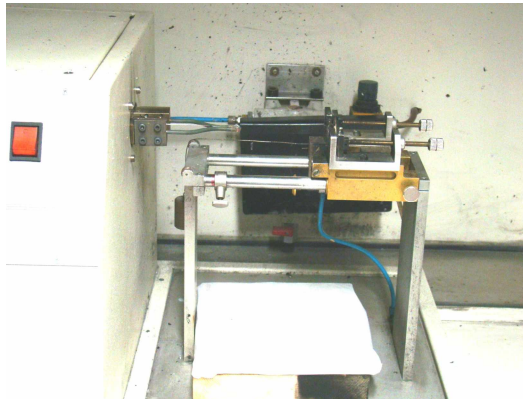
Il principio di base di questa tecnica è di ricavare informazioni sul materiale riscaldandolo o raffreddandolo in maniera controllata. In particolare il DSC si basa sulla misura della differenza di flusso termico tra il campione in esame e uno di riferimento mentre i due sono vincolati ad una temperatura variabile definita da un programma prestabilito.

Funzionamento

La macchina viene predisposta mettendo sugli alloggiamenti due crogioli identici scelti in modo da resistere alle temperature di prova senza interagire con il campione in esame. Uno dei due crogioli rimarrà vuoto in quanto servirà come riferimento per la misura differenziale. Se la macchina a disposizione è fornita di bilancia è meglio caricare il materiale solo dopo aver tarato la bilancia con il peso dei crogioli vuoti in modo da avere una misura precisa della massa inserita del campione. Tramite l'unità di controllo si chiude ermeticamente la fornace in modo da isolare l'ambiente di prova dall'esterno. Una volta inserito il programma termico (solitamente una rampa lineare di temperatura), all'interno della fornace contenente il materiale da analizzare viene creata un'atmosfera inerte con un flusso continuo ed uniforme di Ar o N₂. Una volta iniziata la prova, il calore ceduto dalla fornace riscalda sia il campione che il provino di riferimento in egual modo. Ogni variazione di temperatura tra i due è dovuta a fenomeni che insorgono nel materiale da analizzare: una reazione esotermica innalzerà la temperatura del campione mentre una endotermica farà l'opposto. Durante tutto l'arco dell'esperimento un sistema di termocoppie raccoglie i dati di temperatura e li invia ad un elaboratore che mediante un apposito software li elabora per generare

l'output per l'utente. Una volta terminata la prova il sistema di raffreddamento permette all'operatore di aprire la macchina e rimuovere i crogioli. Introducendo delle opportune approssimazioni, è possibile analizzare quantitativamente il meccanismo di funzionamento del calorimetro dimostrando che il *flusso termico differenziale* (dato dalla differenza tra il flusso di calore che dovrebbe essere erogato dallo strumento al campione ed al provino di riferimento in modo da mantenerli in equilibrio termico secondo lo schema di temperature impostato per la prova) è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra campione di riferimento e campione in analisi. È quindi giustificato il principio di funzionamento dello strumento che misura tramite termocoppie la differenza di temperatura tra il campione e il riferimento per stimare il flusso termico delle reazioni che avvengono all'interno del materiale in quanto direttamente proporzionali tra loro.

Glow wire



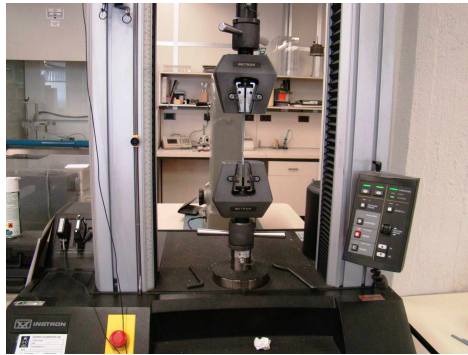
glow wire

Si tratta di un test di resistenza alla fiamma e la prova consiste nell'appiccare il fuoco ad una provetta mediante resistenza elettrica, dopo di che si allontana la resistenza e si misura il tempo che impiega la provetta a spegnersi.

Il dispositivo effettua prove per valutare il comportamento dei materiali rispetto ai rischi di incendio quando sono sottoposti ad un eccessivo shock termico, dovuto agli effetti elettrici, secondo le disposizioni della norma IEC 60695-2-12.

La prova consiste nel simulare gli shock termici che possono essere prodotti dai componenti o dalle parti che, in caso di sovraccarico o in caso di guasto, possono raggiungere una tale temperatura da influenzare o far infiammare le parti vicino loro.

Prova di trazione



dinamometro

È la più importante prova convenzionale meccanica, il materiale viene sollecitato con una forza lungo l'asse longitudinale fino alla rottura. Si esegue su ogni materiale allo scopo di rilevare le caratteristiche di resistenza, deformabilità e di elasticità: è pertanto fondamentale una prova di collaudo, di riconoscimento, di selezione. Con la prova di trazione statica si ricavano indici di confronto che, per quanto convenzionali, consentono la formulazione di giudizi relativi allo stato del materiale ed alle possibilità del suo impiego.

In particolare i valori che si ottengono da questa prova vengono elaborati per determinare:

a) Carico unitario a rottura

È il carico totale o unitario corrispondente al punto di massimo; è il parametro più importante della prova di trazione e un indice di giudizio sulla qualità del materiale. Il carico unitario s'indica con R_m ed è legato al carico totale F_m dalla relazione:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [N/mm^2]$$

dove S_0 è la sezione iniziale

b) Modulo di Elasticità

Rapporto del Carico Unitario a Trazione al corrispondente allungamento Unitario entro il campo di proporzionalità

c) Deformazione a Rottura

Allungamento percentuale determinato in corrispondenza al Carico Unitario di Rottura.

Esecuzione prova con estensimetro

Lo strain-gage (*estensimetro*) è un resistore che varia la sua resistenza variando la sua lunghezza e permette quindi di amplificare le deformazioni del materiale per effetto di una sollecitazione applicata, indicandone o registrandone i valori. L'estensimetro viene montato nel tratto tra i riferimenti (L_0) della provetta e collegato tramite cavo alla macchina universale. Quest'ultima viene impostata adeguatamente secondo il tipo di prova. Il grafico ottenuto avrà i seguenti fondiscala: D L (X) 1cm = 0.0125mm; F (Y) 1cm = 3KN. Durante la prova si raggiungerà un carico massimo di circa 40KN, restando sempre nel campo elastico. Il grafico presenta una buona linearità. All'inizio

della prova, il grafico rileva una leggera curva; questa non è dovuta al materiale ma allo scivolamento della provetta fra le ganasce.

Prova di resilienza Charpy



pendolo charpy

Con la prova di resilienza si misura l'energia dissipata durante l'urto che induce la rottura del materiale. Utilizzando una mazza (charpy) con movimento pendolare.

Gli scopi dell'esecuzione di questa prova meccanica sono molteplici:

- classificazione dei materiali
- indagini sulla variazione di caratteristiche meccaniche indotte dai trattamenti termici
- considerazioni sulla lavorabilità
- considerazioni sulle strutture

Descrizione del pendolo di Charpy

Lo strumento è composto da un'asta che prevede da un lato una cerniera fissata alla base e dall'altro una mazza. Affinché la misurazione non venga falsata dall'attrito dell'aria e della cerniera, quest'ultima presenta dimensioni sensibilmente contenute, mentre la mazza ha una forma aerodinamica ed è munita di un coltello intercambiabile dal profilo standardizzato. Una tale soluzione comporta però un ulteriore problema: la piccola cerniera non sorregge l'urto sviluppato dalla mazza nel colpire il provino se il centro d'urto non è al disopra del baricentro di questa, per tale ragione la mazza del pendolo, oltre ad avere forma aerodinamica, è progettata in modo da avere il centro d'urto al disotto del baricentro, in modo da garantire la funzionalità della cerniera. La resilienza è la capacità di un materiale di resistere a sollecitazioni impulsive. Più precisamente la resilienza è definita come l'energia per unità di superficie assorbita da un materiale portato a rottura in maniera fragile.

Prova colore



colorimetro

In questa prova si prende in considerazione, la variazione di colore determinata secondo il sistema CIE-Lab con coordinate L , a e b dove L sta per brillantezza, a per tonalità e b per varietà di colore. Questa prova indica la degradazione del materiale e l'ossidazione delle molecole che lo compongono attraverso la variazione degli indici di colore. Si prende in considerazione l'indice di giallo perché l'ingiallimento è il primo sintomo di degrado che va a influire sull'aspetto estetico del manufatto.

Spirale di fluidità

Misura il grado di fluidità del materiale. Indica lo scorrimento del materiale in un impronta a forma di spirale. Si esegue per stampaggio ad iniezione con apposito stampo a condizioni di temperature, pressioni e tempi standar.

Melt Flow Rate



plastometro ad iniezione

Il **Melt Flow Rate** (o **grado**) è l'indice della fluidità o viscosità di un polimero fuso; la sua misura si effettua caricando il fuso a una determinata temperatura in un cilindro riscaldato cui è fissato un cilindretto (diametro 2,091 mm e lunghezza 8 mm) che esercita una forza costante e fa fluire il polimero attraverso un capillare; il peso in grammi di polimero che fuoriesce in 10 minuti è il Melt Flow Rate. Tanto maggiore è il peso di materiale fuoriuscito, tanto maggiore è il grado e minore la viscosità del polimero.

La seguente tabella espone i risultati delle misure effettuate con gli strumenti messe a disposizione dal laboratorio prove materiali bticino e condotti dal gruppo degli studenti relatori del progetto.

Numero step	Modulo di elasticità (MPa)	Carico unitario a rottura (MPa)	Deformazione a rottura (%)	Charpy (kJ/m ²)	Spirale (cm)	Glow wire a 960°C
1 step Valox 467 8233 100% vergine	9069	108	3,4	9,66	27	0sec.
2° STEP	8803	99	3,4	8,39	28	0sec.
2° STEP: 50% MACINATO + 50% VERGINE	8969	106	3,3	9,35	27	0sec.
3°STEP	8184	89	3,4	7,11	28	0sec.
3° STEP: 50% MACINATO + 50% VERGINE	9011	103	2,8	8,46	28	0sec.
4°STEP	7881	89	3,5	6,9	29	0sec.
5° STEP	7837	84	3,6	6,65	29	0sec.
6°STEP	7867	81	3,1	6,27	30	0sec.
6° STEP: 50% MACINATO + 50% VERGINE	8754	99	2,8	8,39	29	0sec.

Step: lotto di materiale (campionatura)

Norme usate: metodologia seguita secondo le norme sotto indicate

Per le prime tre prove meccaniche (a trazione) la norma usata è la ISO 527-1.

Per la verifica della resistenza all'urto (Charpy) la norma usata è la ISO 179/1 e A.

Per il metodo spirale viene usato il metodo BTicino con spirale 2mm.

Per la verifica della resistenza al glow wire la norma usata è la IEC 60695-2-12

Per la verifica del colore la norma usata è la BS6923 (DEcmc) e per l'indice di giallo viene usata la ASTM E313/98 (DYI).

CAPITOLO 4

ANALISI DEI RISULTATI

Capitolo 4

1) Modulo di Elasticità a Trazione

Il Modulo di Elasticità, standard (8500MPa) fino al secondo step conserva i valori richiesti dai parametri bticino; con l'aggiunta di 50% di materiale vergine nei successivi step il modulo rimane costantemente al di sopra dei parametri stabiliti. Nel quarto step la variazione percentuale del Modulo rispetto al vergine di partenza, inizia ad essere maggiore del 10%.

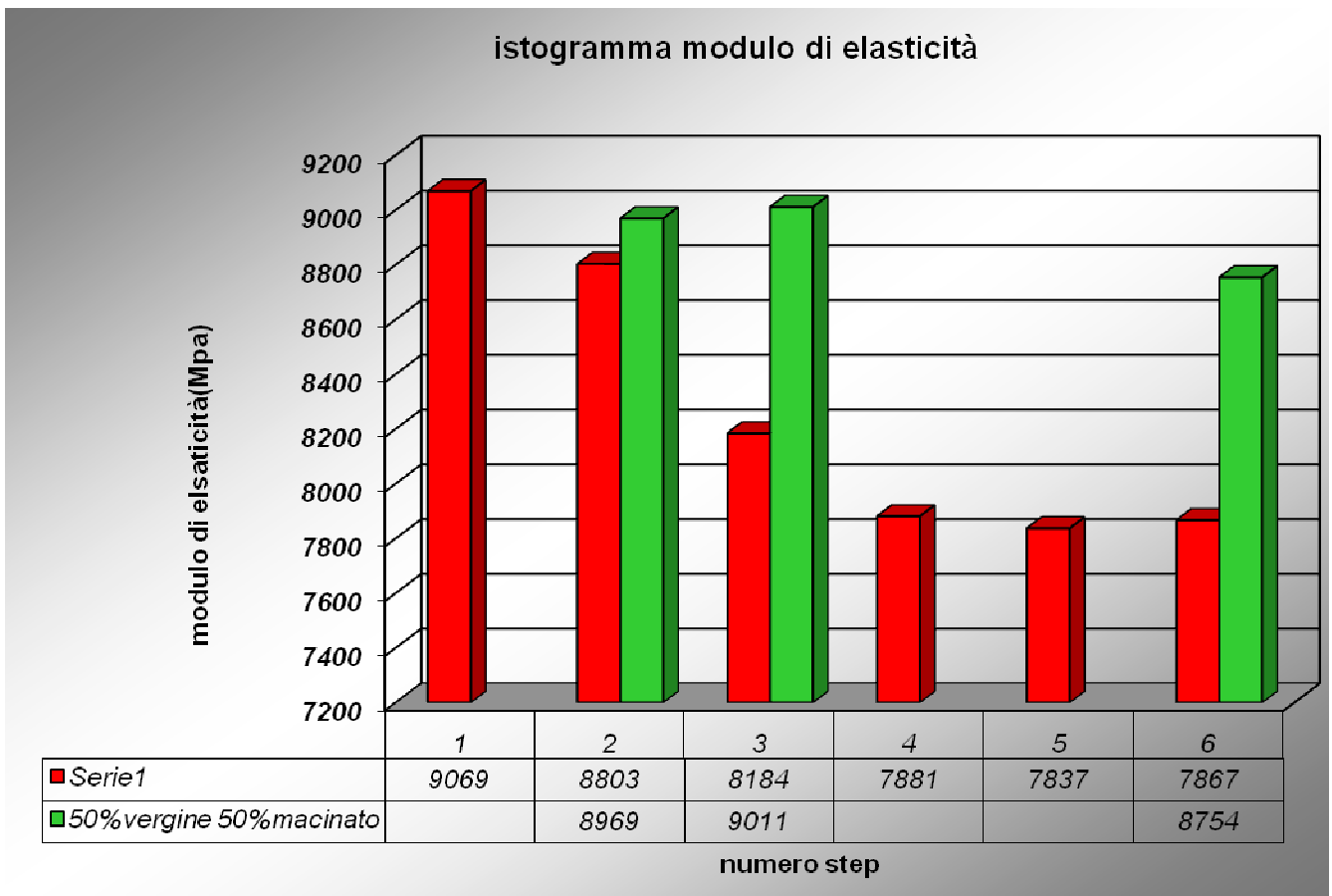


fig. 1

In fig.1, la variazione dei Moduli di Elasticità relativi agli step eseguiti

2) Carico Unitario a Rottura

Nel Carico unitario a Rottura si nota che fino al secondo step il materiale conserva le caratteristiche richieste dai parametri bticino, con una variazione minima del 2,9% rispetto ai 108 MPa quindi non influente. Nei successivi step i valori diminuiscono notevolmente rispetto al materiale di partenza non rientrando più nelle caratteristiche richieste dall'azienda. Con l'aggiunta di 50% di materiale vergine i valori risalgono enormemente fino a valori simili a quelli di partenza.

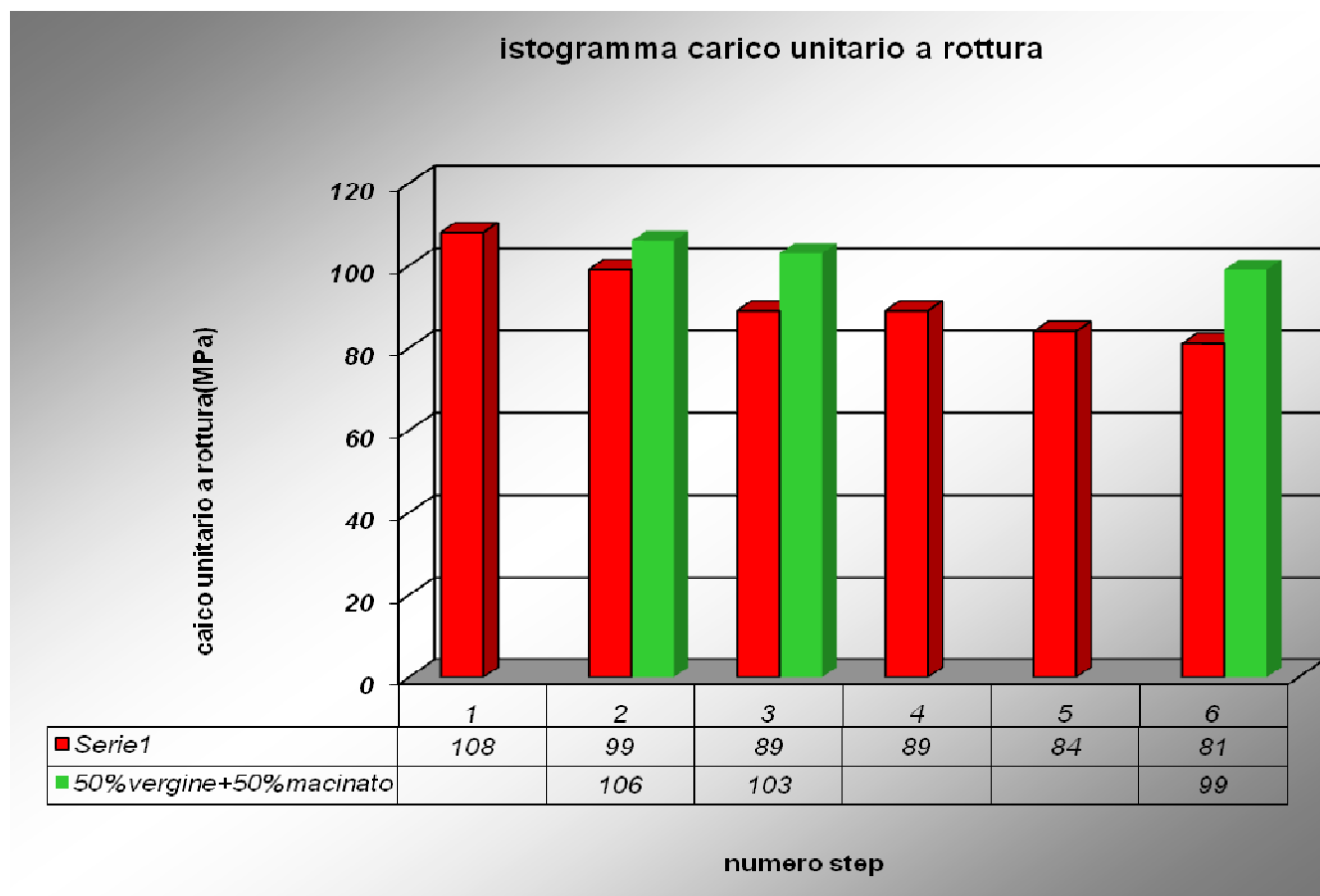


fig.2

In fig. 2, la variazione del Carico unitario a Rottura relativi agli step eseguiti

3) Deformazione a Rottura

Nella Deformazione a Rottura si nota che i valori rimangono costanti nel primo step, nello step due, tre e sei con l'aggiunta del 50% di materiale vergine, rientrando perciò nei parametri stabiliti dall'azienda.

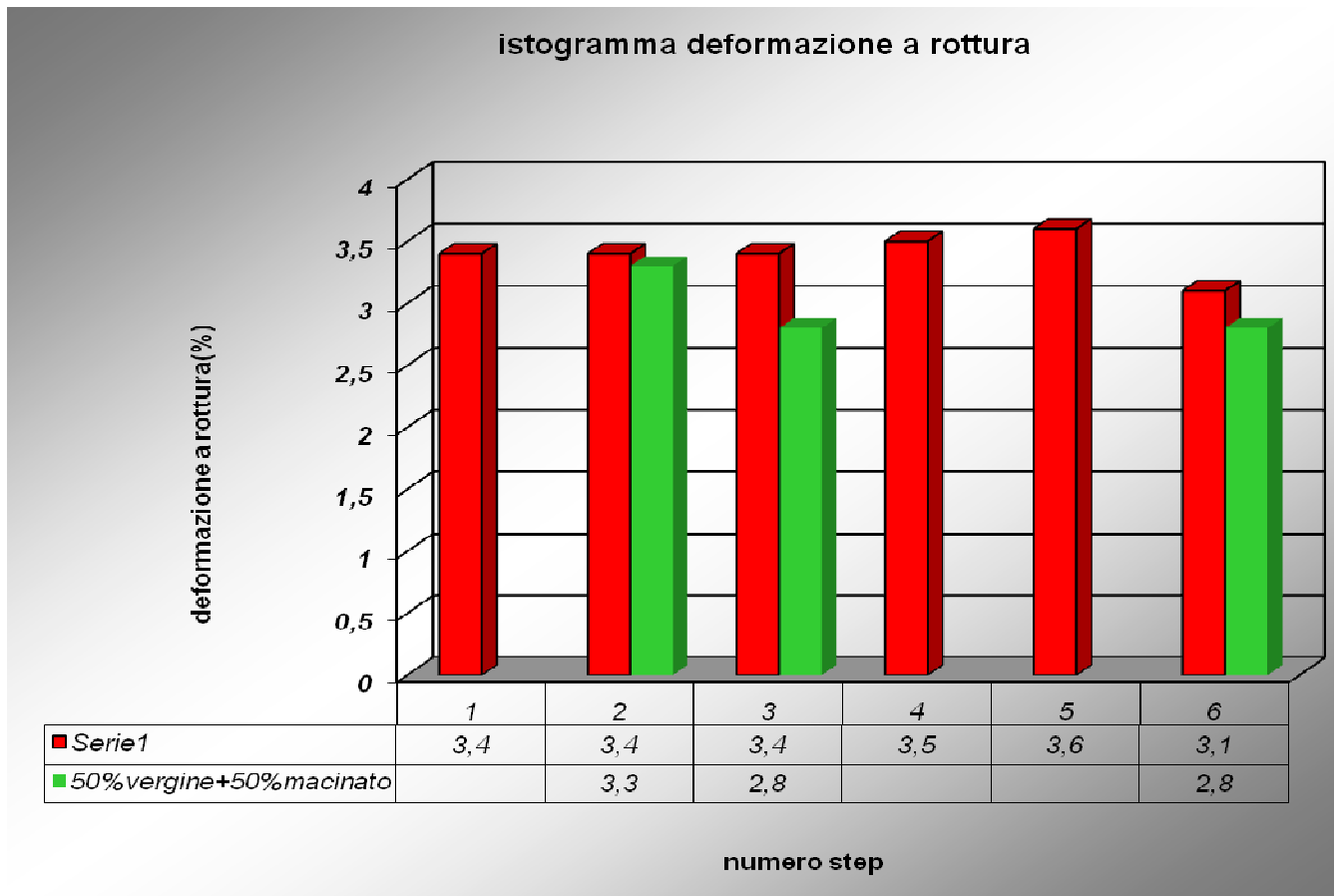


fig.3

In fig.3, la variazione della Deformazione a Rottura relativa agli step eseguiti.

4) Resilienza Charpy

Nella prova di resilienza con il pendolo charpy si nota che fino al secondo step i valori sono simili al valore ottimale di 7,5 KJ/m² indicato da bticino. Nelle prove eseguite con la presenza del 50% di materiale vergine il campione recupera quasi totalmente la resilienza originale.

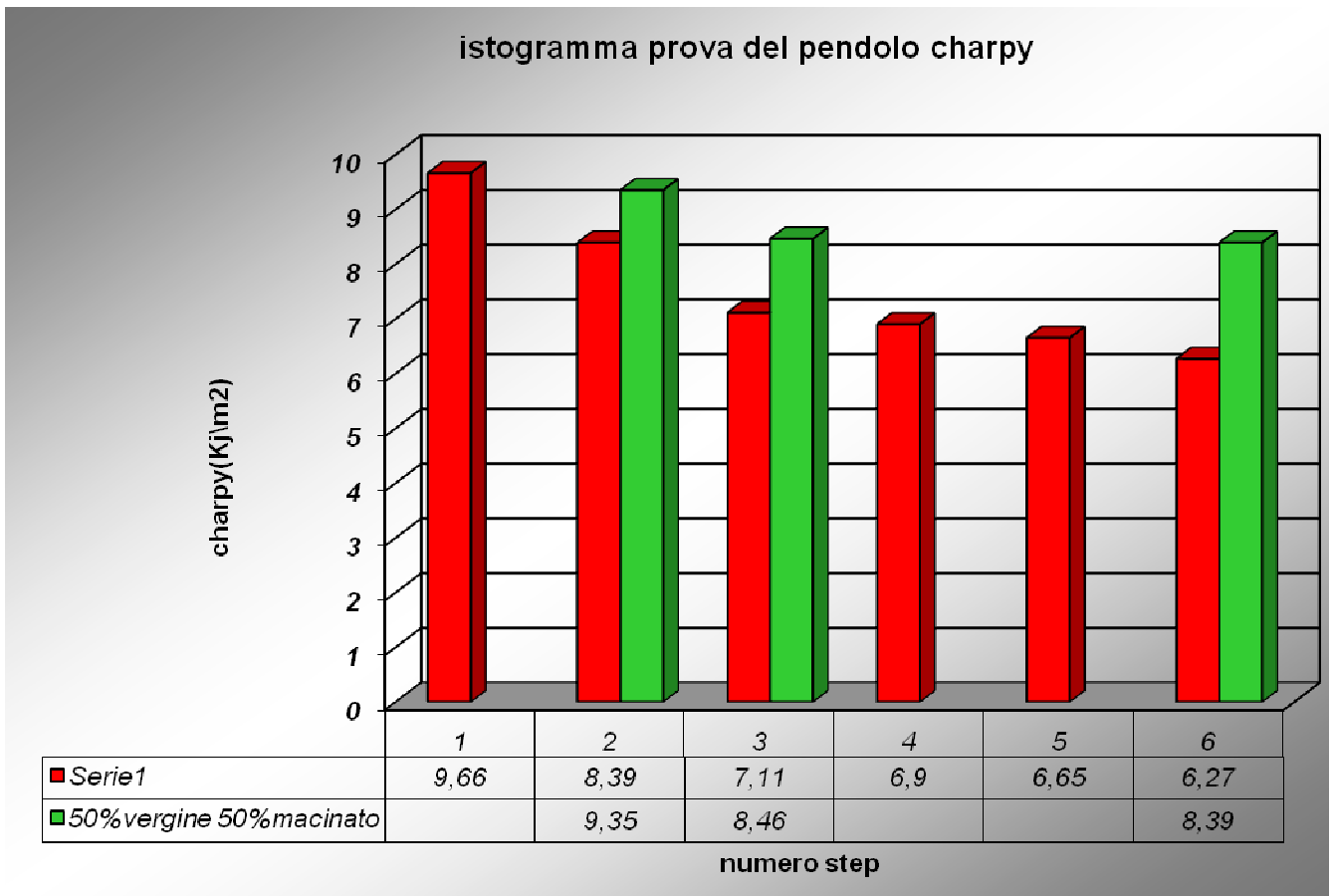


fig.4

In fig.4, confronto dei valori di resilienza relativa agli step eseguiti.

5) Prova spirale (fluidità)

Nella prova della spirale si nota che dal primo al sesto step la variazione della lunghezza della stessa è pressoché irrilevante quindi da non tenere in considerazione; infatti essa non supera i 10 cm considerati il limite. Ciò accade per la presenza di una carica minerale come il vetro e di un'agente antiurtizzante come la gomma.

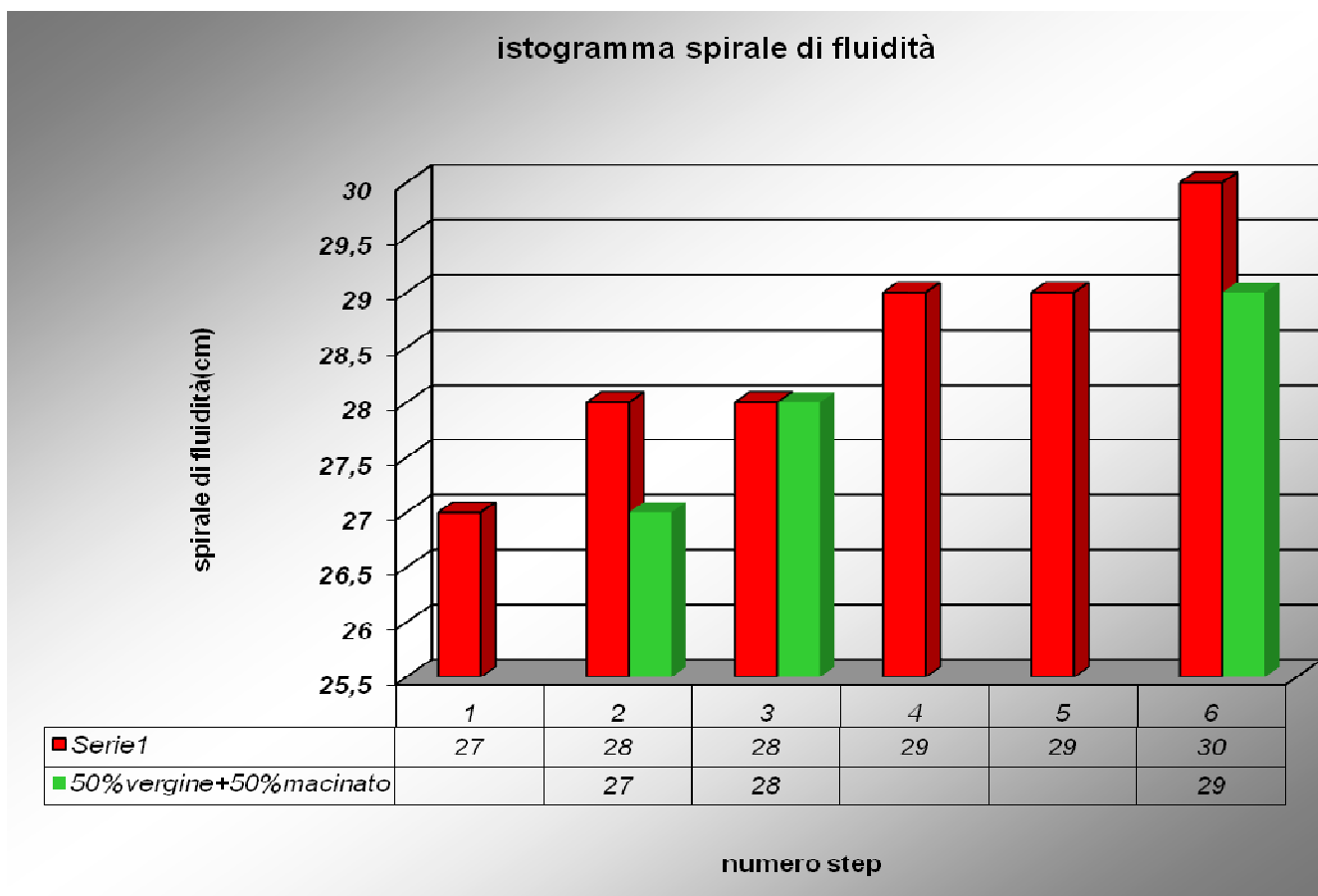


fig.5

In fig.5, la variazione della fluidità del materiale relativa agli step eseguiti.

6) Prova Glow Wire

Nella prova del Glow Wire si nota che la proprietà di autoestinguenza del materiale rimane invariata; questo si può spiegare grazie alla presenza della carica minerale, il vetro.

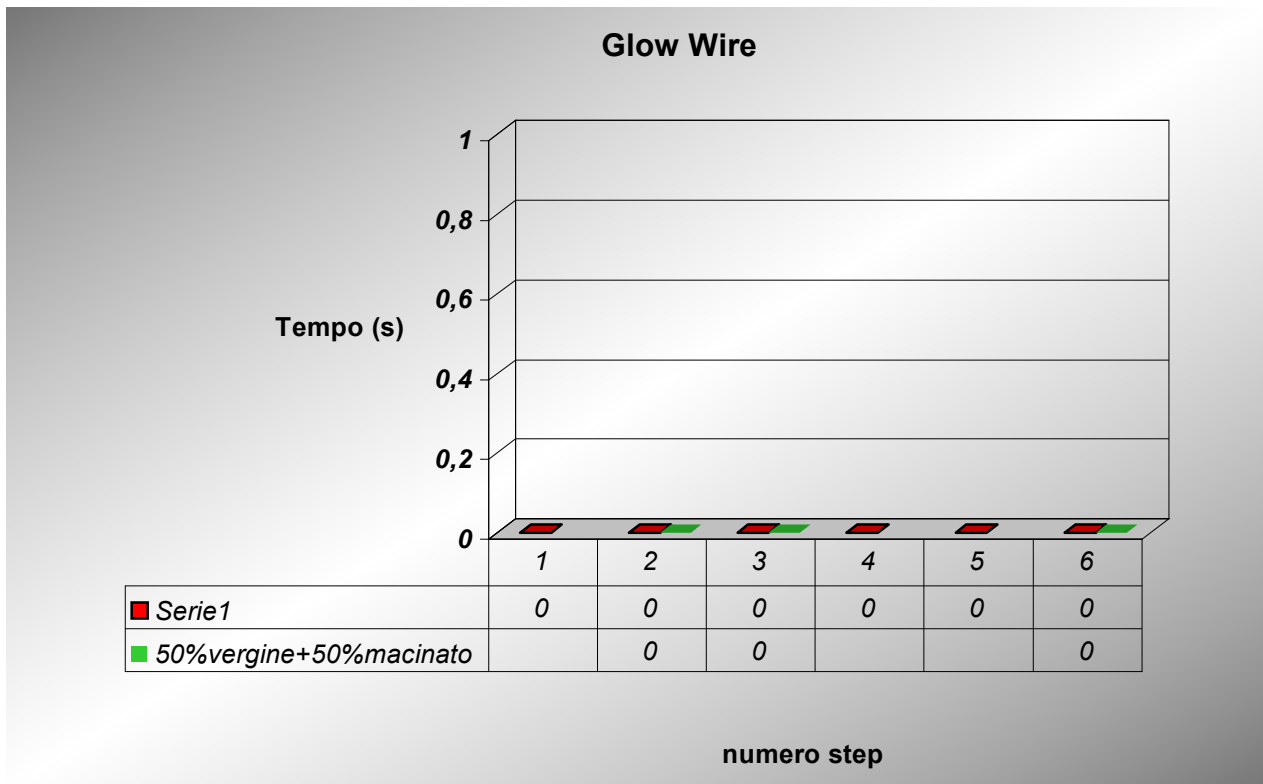


fig.6

In fig.6, il Glow Wire relativo agli step eseguiti.

7) Prova colore

Ritenendo un valore limite di variazione dell'Indice di Giallo uguale a ± 1 si nota che fino al 4° step il degrado e l'ossidazione del materiale sono accettabili e inoltre come nelle precedenti prove con l'aggiunta di 50% di materiale vergine si rientra nel campo dei valori standard.

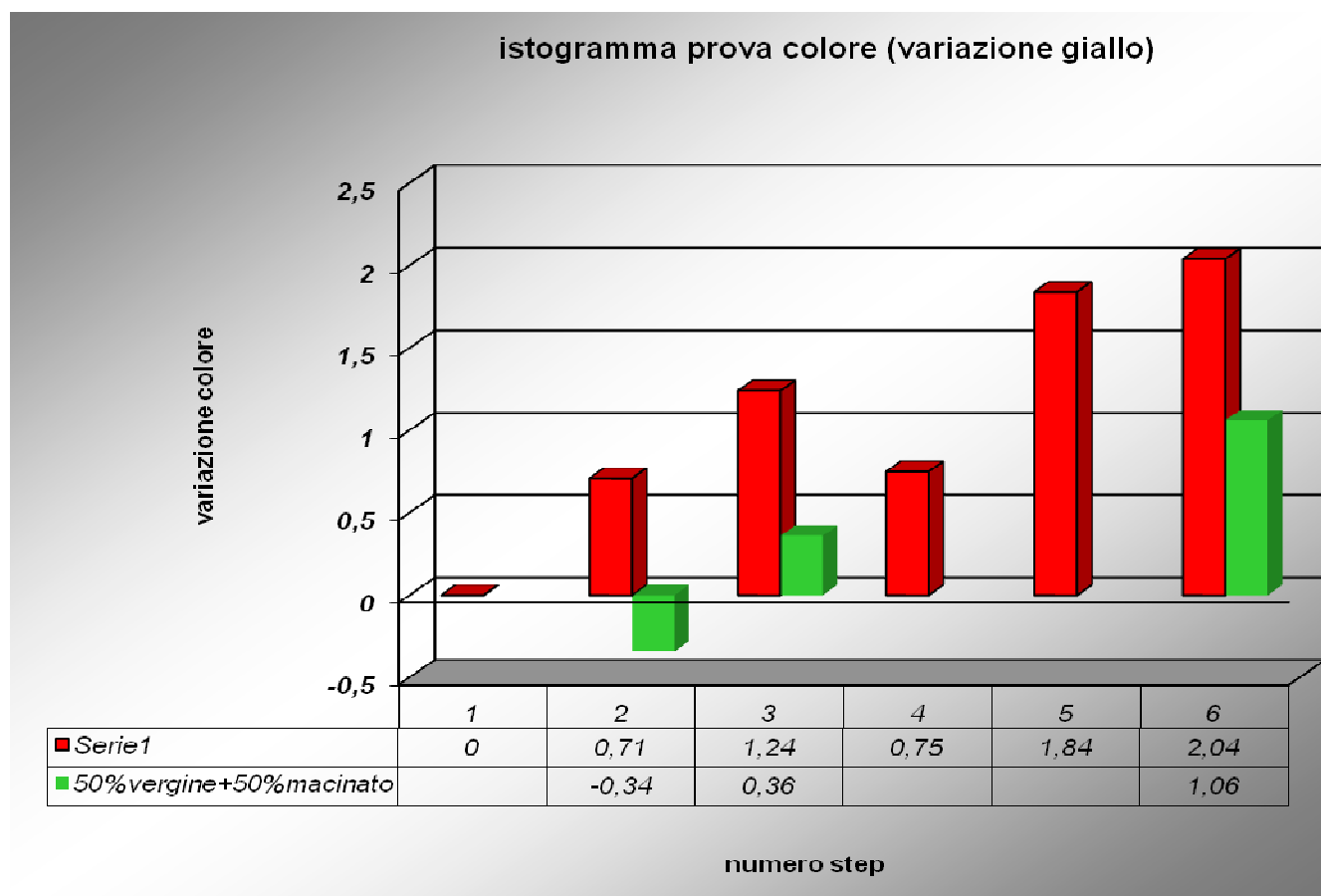


fig.7

In fig7, la variazione di indice di giallo relativa agli step eseguiti.

8) Prova Calorimetria Differenziale a Scansione

Con questo test si valuta la temperatura di fusione che per il materiale vergine è situata in un intervallo di 218°C a 240°C. La prova DSC dimostra che tutti i punti di fusione dei sei step sono collocati in un intervallo addirittura compreso dai 218,7°C ai 220,5°C dimostrano che non vi è alcuna variazione di questa proprietà.

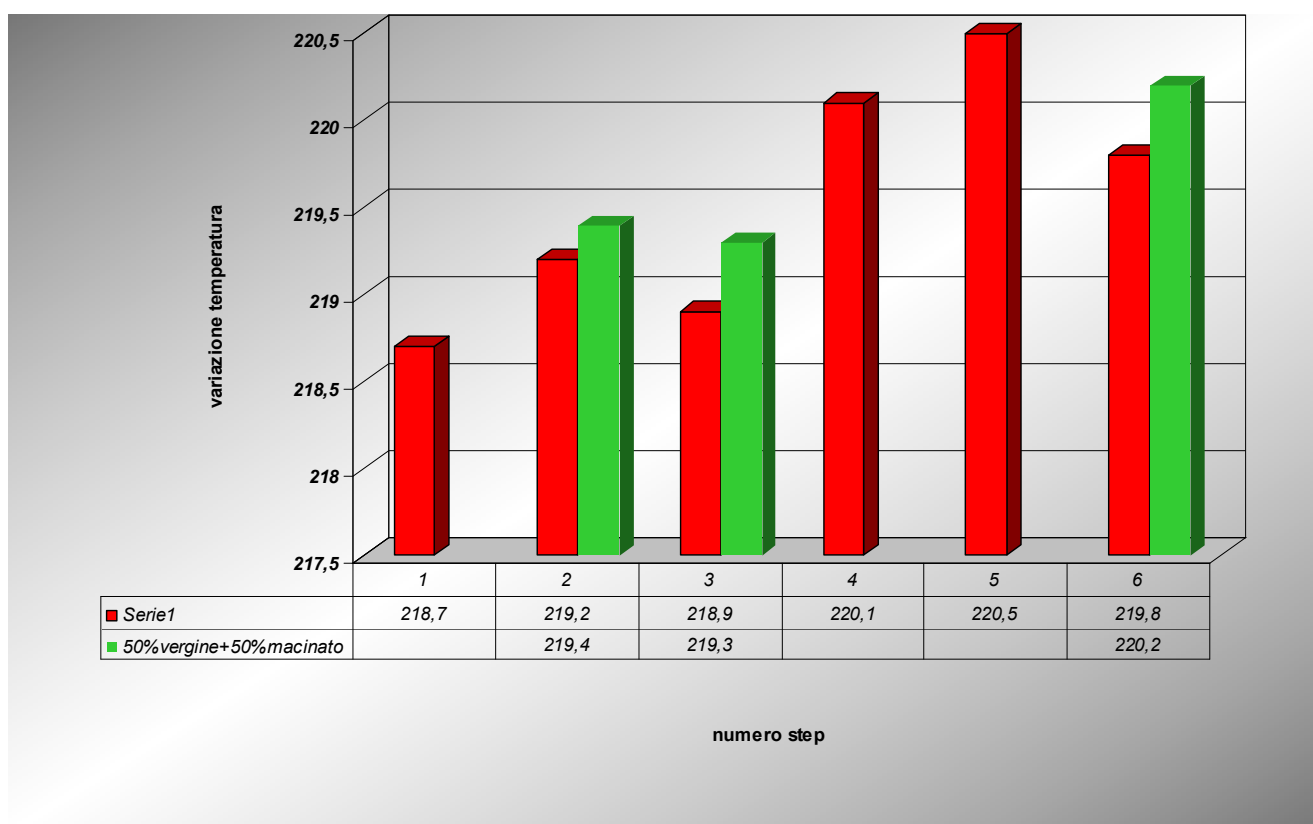


fig.8

In fig8, la variazione delle temperature di fusione relative agli step eseguiti.

9) Prova Calorimetria Differenziale a Scansione (cristallizzazione)

Con questo test si valuta la temperatura di cristallizzazione che per il materiale vergine è situata in un intervallo di 185°C a 195°C. La prova DSC dimostra che tutti i punti di cristallizzazione in fase di raffreddamento dei sei step sono collocati in un intervallo addirittura compreso dai 189,7°C ai 190,3°C dimostrano che non vi è alcuna variazione di questa proprietà.

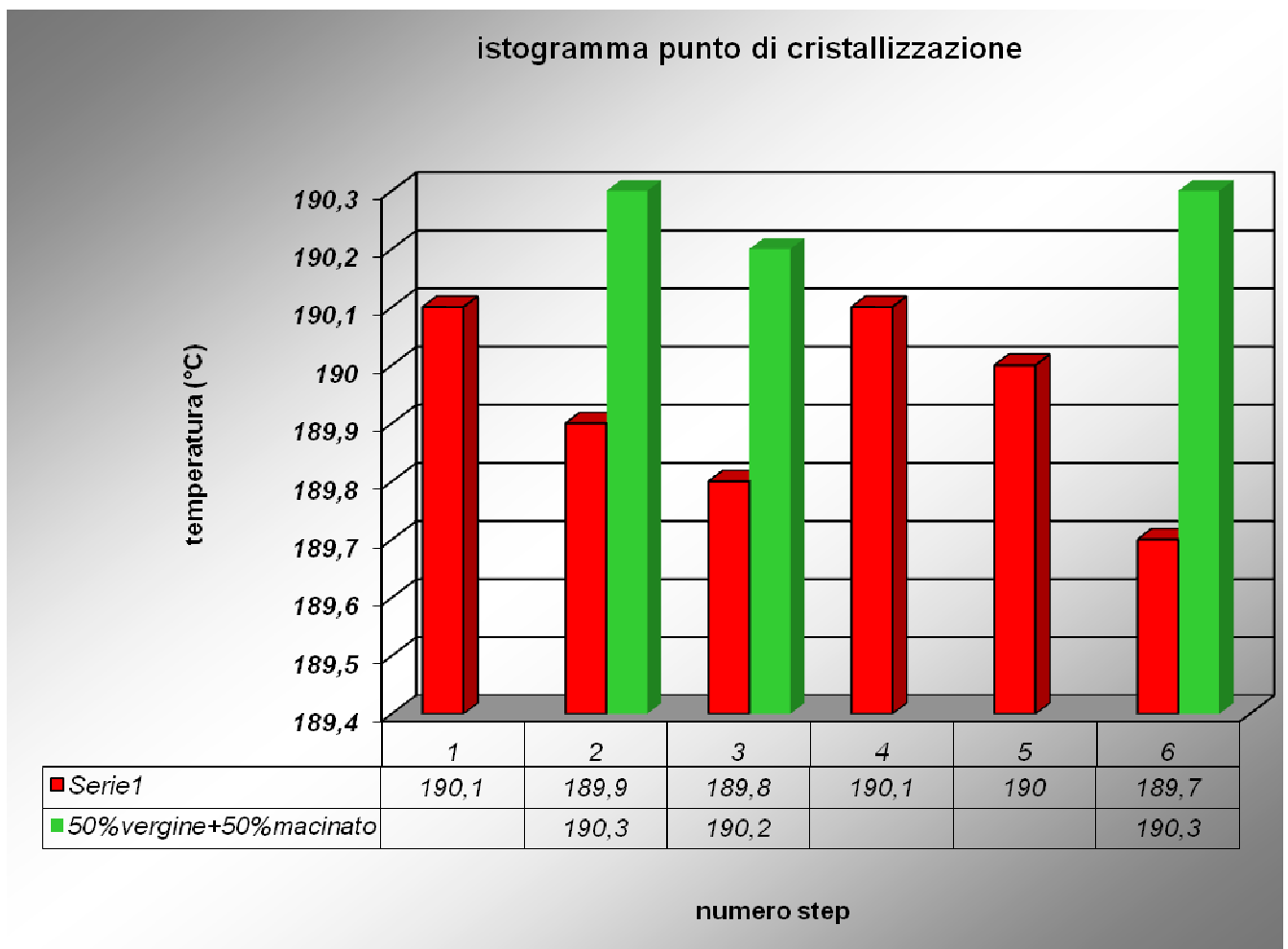
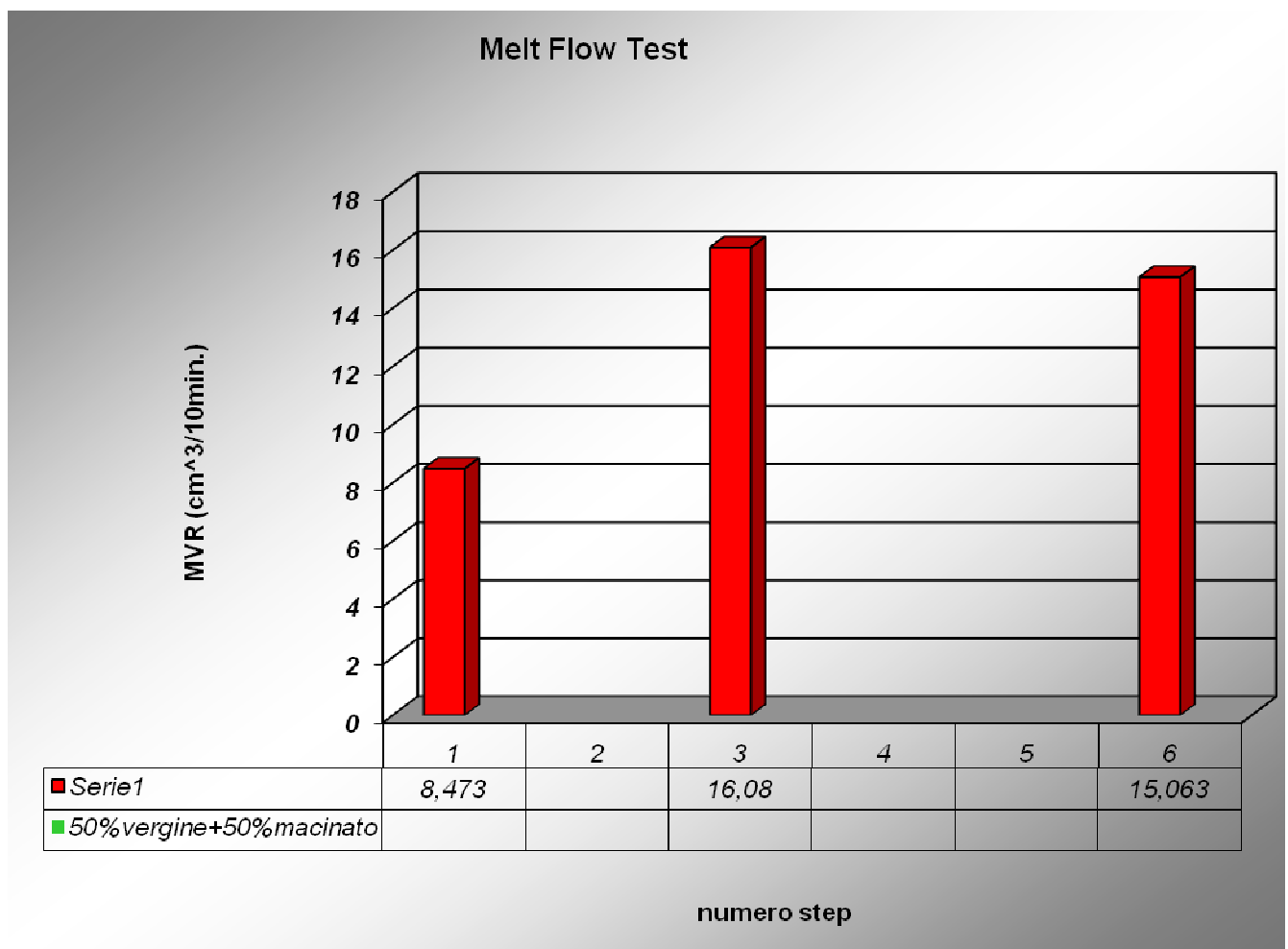


fig.9

In fig9, la variazione delle temperature di cristallizzazione relative agli step eseguiti

10) Prova Flow Rate

La prova è stata effettuata con un peso di 5 kg e temperatura di 250°C ed è stata eseguita su 3 step per determinare l'andamento della fluidità durante l'intero ciclo. Si osserva che già al terzo step il volume di materiale in uscita dall'ugello è raddoppiato, indice sicuramente di variazione del peso molecolare ma molto probabilmente indice di inizio di degradazione.



CONCLUSIONI

Conclusioni

Considerato che nelle prove fino al 3° step (2 cicli di stampaggio) e in tutte quelle con l'aggiunta di 50% di materiale vergine, i valori dei test rispettano i requisiti richiesti dal ciclo produttivo impiegato dall'Azienda; è consigliabile solo riciclare il materiale nella seguente composizione:

50% di materiale macinato + 50% materiale vergine.

Un'analisi più dettagliata delle prove condotte ci consente di ipotizzare anche un impiego superiore ai 3 cicli di stampaggio effettuati della stessa composizione. Ciò perché il degradamento di tutte le proprietà assume un valore asintotico.

Bibliografia

www.wikipedia.org, opera collettiva "PBT", anno 2009

Norme ISO: sito istituzionale dell'ISO e del CEN (Comitato Europeo di Normazione)

Norme DIN: sito del DIN (Istituto Tedesco per la Standardizzazione)

Norme ASTM: sito dell'ASTM (American Society for Testing Materials)