



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI MATERIALI

Tesi di Laurea Triennale – Indirizzo Materiali

**UTILIZZO DI POLIPROPILENE RIGENERATO  
IN GEOCOMPOSITI PER L'EDILIZIA**

*Relatore:* Prof. Giovanna Brusatin

*Tutor Aziendale:* Dott. Graziano Peterle

*Laureando:* Matteo Vettorel

Anno Accademico 2011 / 2012



# Indice

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1 – TEMA SRL</b>	<b>3</b>
1.1 I PRODOTTI TEMA	4
1.2 L'IMPIANTO PRODUTTIVO	5
<b>CAPITOLO 2 – INTRODUZIONE ALLE MATERIE PLASTICHE</b>	<b>7</b>
2.1 POLIETILENE	7
2.2 POLIPROPILENE	8
2.3 MATERIE PLASTICHE RIGENERATE	10
2.4 PRINCIPALI TEST E STRUMENTI DI CARATTERIZZAZIONE	11
2.4.1 Dsc	11
2.4.2 Mfi	12
2.4.3 Capacità drenante	13
2.4.4 Test di trazione-compressione	14
2.4.5 Peso e spessore	16
2.4.6 Creep	16
<b>CAPITOLO 3 – MISCELE A BASE DI POLIPROPILENE</b>	<b>17</b>
3.1 OBIETTIVI ED IPOTESI DI LAVORO	17
3.2 FASI PRELIMINARI	18
3.3 ANALISI DELLE MISCELE ED ELABORAZIONE DEI DATI	20
3.3.1 Test mfi	20
3.3.2 Analisi dsc	22
3.3.3 Test di trazione	29
3.4 CARATTERIZZAZIONE DEL PRODOTTO FINITO	32
<b>CAPITOLO 4 – CONCLUSIONI</b>	<b>37</b>
<b>APPENDICE</b>	<b>39</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>55</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>	<b>57</b>



# Introduzione

La nascita di questo lavoro è da ricercare nella possibilità di collaborazione che l'azienda TeMa Technologies and Materials srl mi ha offerto nell'ambito del tirocinio da effettuare nel percorso di laurea triennale.

Al momento della mia permanenza, l'azienda si trovava impegnata nello sviluppo del proprio processo produttivo, al fine di poter sfruttare come materia prima del materiale plastico riciclato e ridurre così i costi relativi alle materie prime.

Le problematiche legate all'attività di monitoraggio e di scelta dei parametri di processo e alla necessità di controllo delle prestazioni del nuovo materiale, sono state le opportunità che mi hanno spinto a mettere a disposizione le mie modeste conoscenze e a collaborare con TeMa.

Presento dunque le modalità di svolgimento del tirocinio in queste pagine, che ho suddiviso in 4 capitoli.

Nella prima parte darò spazio alla presentazione dell'azienda e del ruolo acquisito nell'ambito del mercato edilizio, unitamente ad una breve descrizione dei prodotti e dell'impianto, in modo da fornire qualche indicazione sul contesto produttivo che mi accingevo ad esplorare.

Nella seconda parte del lavoro ho ritenuto opportuno riportare una descrizione dei materiali con i quali ho lavorato, (polietilene e polipropilene), descrivendone le principali proprietà, le modalità di produzione, gli ambiti di applicazione, gli aspetti vantaggiosi e non; ho ritenuto doveroso inoltre presentare i problemi (o le risorse?) connessi all'utilizzo di materiale plastico rigenerato.

In questo stesso capitolo ho descritto anche i test e gli strumenti a mia disposizione per la caratterizzazione delle materie prime, del processo o dei prodotti; soffermandomi sulle modalità di funzionamento e di raccolta dei dati, precisando di volta in volta le normative seguite nel loro utilizzo.

Nella terza parte viene invece descritto il mio lavoro presso l'azienda, presentato secondo una logica temporale: partendo dalle fasi preliminari e dalle ipotesi di lavoro, si prosegue con la descrizione e lo sviluppo pratico dell'attività di raccolta ed analisi dei dati.

I risultati sono stati suddivisi per tipologia di test e quindi riassunti in grafici e/o tabelle utili alla loro rapida e facile consultazione.

Nella quarta e ultima parte vengono esposti i risultati complessivi, con i commenti e i giudizi del caso, che fungeranno da valutazione del tirocinio svolto: come parametro di giudizio viene assunta la comparazione delle prestazioni tra il prodotto sperimentale a base riciclata e il prodotto normalmente commercializzato dall'azienda.

Infine, ho ritenuto opportuno inserire un'appendice, nella quale riporto un esempio di ogni test effettuato, per una particolare tipologia di prodotto ritenuta esemplificativa, in modo da mostrare concretamente i risultati via via ottenuti.

Concludo ringraziando chi ha permesso la realizzazione del mio progetto: la dirigenza dell'azienda per l'opportunità offertami; i "colleghi" di lavoro, in primis Giovanni, per la pazienza e la disponibilità nei miei confronti; la professoressa Giovanna Brusatin per i preziosi consigli; i compagni di viaggio Federico, Marco e Federico per gli anni di studio condiviso; Alessia per la pazienza e l'affetto dimostratomi; infine, un ringraziamento particolare a tutta la mia famiglia, cui voglio dedicare questo lavoro.

# Capitolo 1

## TeMa s.r.l.

L'azienda TeMa Technologies and Materials S.r.l. di Vittorio Veneto (TV) viene fondata nel 1993 dalla direzione dell'azienda Tegola Canadese S.p.a., con lo scopo di produrre membrane bugnate in polietilene ad alta densità, prodotto destinato al settore edilizio e in precedenza importato dalla Norvegia, con notevoli costi di trasporto e senza la possibilità di adattarlo alle richieste del mercato italiano.

L'azienda guadagna negli anni sempre maggior rilievo nel mercato dei prodotti drenanti, ampliando in poco tempo la propria offerta, per quanto riguarda i materiali di partenza dei prodotti e le loro applicazioni.

TeMa Corporation è attualmente punto di riferimento europeo nel settore, vanta tre sedi produttive all'estero (Spagna, Turchia e Russia) ed opera in oltre 60 paesi, con un fatturato nel 2011 dell'ordine dei milioni di euro.

Le due divisioni in cui si articola l'azienda (Ambiente ed Edilizia) si differenziano per la capacità di individuare soluzioni personalizzate per il cliente e le sue necessità, con una vasta gamma di proposte all'avanguardia, sia in fase di progetto, sia durante e dopo la posa in opera: il più grande interlocutore di geocompositi drenanti presente in Italia.

Il termine geocomposito si attribuisce ad una serie di prodotti dell'industria tessile e dell'industria delle materie plastiche destinati all'uso edilizio, con funzioni che vanno dall'isolamento alla filtrazione o dal rinforzo all'impermeabilizzazione, sia di grandi infrastrutture pubbliche (viadotti, gallerie, pendii artificiali), sia di opere più modeste (canali, impianti sportivi,...); ne esistono diverse tipologie, quali geogriglie, georeti, geomembrane, geostuoie, che si differenziano per la modalità di fabbricazione e per l'applicazione alla quale sono destinate.

Il loro uso si è molto evoluto negli ultimi anni, presentando vantaggi non indifferenti come il basso impatto ambientale, la possibilità di utilizzare materiali riciclati, la versatilità di progettazione e di posa, la notevole durabilità del prodotto. Le caratteristiche costruttive che differenziano tra di loro tutti questi manufatti sono la materia prima, la massa areica, lo spessore, l'indice dei vuoti, la permeabilità all'acqua, la resistenza meccanica e chimica.

All'interno di TeMa, la divisione Ambiente si occupa delle soluzioni studiate per la protezione ed il mantenimento di qualunque tipologia di terreno; i due principali polimeri trattati sono il polietilene

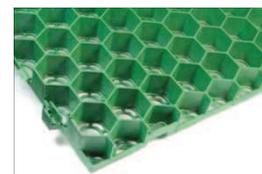
ad alta densità ed il polipropilene.

Le membrane a base polietilenica hanno lo scopo di proteggere e impermeabilizzare le fondazioni e di rinforzare i muri contro terra; ciascun prodotto soddisfa alle esigenze di posa e alle varietà di supporti su cui il materiale va applicato, in relazione alle condizioni ambientali e alle caratteristiche costruttive del progetto.

I prodotti a base polipropilenica, di più nuova concezione, sono riservati alla funzione di controllo dell'erosione, drenaggio e rinforzo: essi sono rappresentati principalmente da geosintetici antierosivi (griglie, stuoie, tappeti), la cui particolare conformazione a bassa densità e ad alto indice di vuoti permette all'erba di radicarsi, consentendo all'acqua di scorrere, mantenendo il terreno soffice e compatto, impedendone il franamento a valle anche in caso di forti pendenze.

Entrambe le tipologie di prodotto possono essere accoppiate con uno o più strati di geotessile non tessuto, che ne aumenta l'efficacia impedendo l'intasamento dei condotti da parte del terreno, per trovare applicazione in ambiti più specifici e selettivi.

La divisione Edilizia propone invece soluzioni dedicate alle costruzioni civili, dai comuni moduli salvaprato alle reti dal caratteristico colore arancione che segnalano la presenza di un cantiere, per passare dalle membrane drenanti e antivibrazione per tetti metallici sino ai prodotti isolanti per sottotetti non areati.

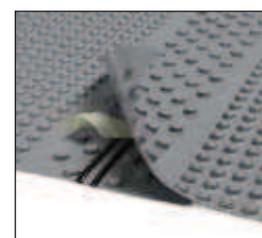


**Figura 1.1: Modulo salvaprato**

## 1.1 I prodotti TeMa

L'azienda sfrutta tre linee operative e i principali prodotti sono:

**Tefond:** geomembrana sintetica brevettata per la protezione meccanica dell'impermeabilizzazione, caratterizzata dall'innovativo sistema di chiusura mediante abbottonatura, è commercializzata in numerose varianti dotate di specifiche migliorie: la versione Plus, ad esempio, è dotata di due strisce bituminose che ne garantiscono la perfetta tenuta all'acqua in assenza di



**Figura 1.2: Tefond Plus**

battente idrico; la versione Drain è accoppiata ad un geotessile non tessuto, ed è impiegata con successo nelle applicazioni in tunnel artificiali.



**Figura 1.3: Isostud**

**Isostud:** geocomposito drenante costituito da una membrana bugnata in HDPE accoppiato ad un geotessile non tessuto in PP, utilizzato in drenaggi in cui è necessario captare acqua da un solo lato, come quelli tra terreno e fondazioni.

**Maxistud:** membrana bugnata in HDPE con rilievi di tronco conici di 20mm di spessore, garantisce resistenza a compressione assicurando la funzione drenante.



Figura 1.5: Q-drain

**Q-drain:** geocomposito drenante costituito da monofilamenti sintetici estrusi, aggrovigliati e saldati nei punti di contatto, al quale possono venire fissati uno o due geotessili non tessuti, che impediscono l'intasamento, da parte del terreno, dell'anima interna ad alto indice di vuoti. Il prodotto è flessibile ed adattabile a qualsiasi di terreno, essendo



Figura 1.4: Maxistud

previsto in una grande varietà di tipologie.

**K-roof:** prodotto inedito che abbina l'azione di un diffusore di vapore ad uno strato in monofilamento di PP o PA per creare un piano di drenaggio al di sotto delle coperture metalliche e migliorarne il conforto acustico, creando un ambiente sottotetto confortevole.



Figura 1.6: K-roof

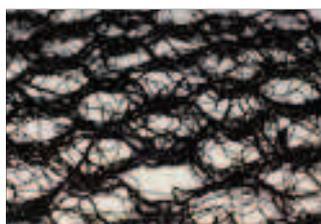


Figura 1.7: K-mat

**K-mat:** geostuoia antiersosiva tridimensionale ad alto indice di vuoti, sempre ottenuta per estrusione di monofilamenti, prevede la possibilità di essere rinforzata con una geogriglia in fibra sintetica, per aumentarne la resistenza a trazione.

**Q-Drain Football:** geocomposito drenante e prestazionale, finalizzato ad essere installato sotto il terreno dei moderni campi da calcio sintetici; deve soddisfare alle caratteristiche di assorbimento e rilascio dell'impatto previste dalle normative FIGC, organo cui compete l'approvazione del manto erboso artificiale.



Figura 1.8: Q-drain Football

## 1.2 L'impianto produttivo

Dall'esperienza maturata in venti anni di attività sta per nascere la quarta linea produttiva, in fase di costruzione durante lo svolgimento del tirocinio presso l'azienda. La prima linea viene utilizzata per la produzione delle membrane bugnate in HDPE mediante termoformatura (tecnica di stampaggio sottovuoto a caldo) su dei rulli rotanti che imprimono la forma desiderata.

La seconda e la terza linea sono quelle che hanno interessato il mio tirocinio, poiché riguardano la produzione di manufatti drenanti e antiersosivi a base di polipropilene accoppiati o meno con tessuti (la maggior parte delle volte anch'essi in PP).

Senza pretesa di esaustività, anche per non divulgare particolari che fanno parte del know-how aziendale, verrà fornita una breve descrizione dell'impianto, che sfrutta la cosiddetta tecnica "ad umido" per la fabbricazione di geosintetici a partire dall'estrusione di filamenti termo-fusi.

Il processo produttivo inizia con il prelevamento automatico dei componenti della miscela e la successiva immissione nella tramoggia (2a in figura 1.9) che alimenta il lungo estrusore di 4 metri (2), formato da una pluralità di ugelli di diametro compreso tra 0,3 – 1 mm; la temperatura della filiera (1) è dell'ordine dei 250-280° C.

I monofilamenti estrusi (F) ricadono verticalmente su di uno specifico rullo di conformazione (4) (differente a seconda della geometria e della funzione del manufatto) distante circa 15-20 cm, il quale risulta immerso per metà nell'acqua di raffreddamento (3): a questo punto i filamenti, presenti sia sul rullo che a pelo d'acqua, grazie anche alla presenza nel bagno di saponi e tensioattivi (7), tendono a termosaldarsi e ad aggrovigliarsi tra di loro, dando origine ad un tappeto (W), formato da piramidi tra loro ben saldate, che viene poi raccolto da un rullo tenditore (5), nonché stirato e pressato da una serie di rulli successivi.

I parametri di estrusione/lavorazione del PP, di temperatura dell'acqua, di posizione e velocità del rullo formatore sono ampiamente variabili, per poter essere impostati in modo ottimale ed evitare la presenza di aggrovigliamenti eccessivi o di zone vuote nel prodotto finale.

Il tappeto a questo punto passa in una zona di asciugatura, dove aspiratori e sbattitori meccanici (6) eliminano l'acqua presente; successivamente il prodotto, ancora caldo, può venir accoppiato termicamente ad uno o più geotessili non tessuti, a seconda della finalità commerciale prevista.

Infine il prodotto giunge nel castello di accumulo e nell'ultima parte della linea dedicata all'imballaggio, giungendo al termine del processo di trasformazione.

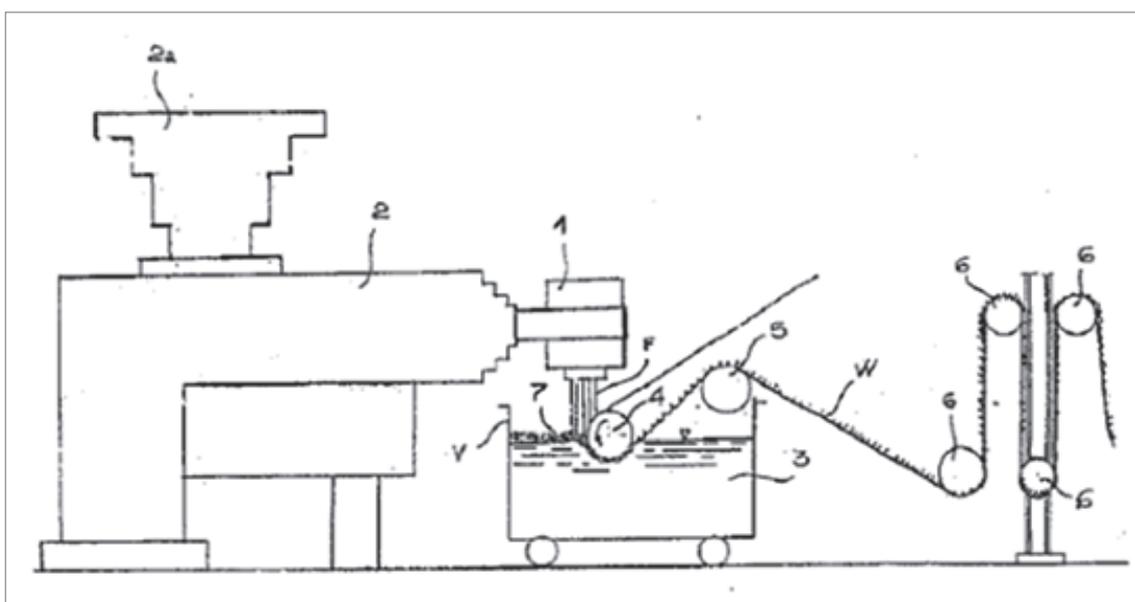


Figura 1.9: schema dell'impianto di produzione Tema

# Capitolo 2

## Introduzione alle materie plastiche

Ritengo opportuno descrivere sinteticamente le più importanti caratteristiche dei polimeri utilizzati nel corso del tirocinio: pur concentrandomi sul polipropilene, oggetto principale del mio lavoro, ho avuto modo di effettuare analisi su numerose tipologie di polietilene, nell'ambito della politica aziendale di continua ricerca e selezione delle materie prime presso vari fornitori, con un occhio di riguardo nei confronti del materiale riciclato e di recupero. Inoltre verrà presentata la strumentazione a mia disposizione, assieme alle informazioni necessarie a comprenderne il funzionamento.

### 2.1 Polietilene:

Il polietilene è la più comune di tutte le materie plastiche, nonché la più semplice dal punto di vista strutturale  $[-CH_2-CH_2-]_n$ , ma anche la più versatile, trovandosi in commercio sotto moltissime forme, che vanno da LDPE a HDPE e da LLDPE a UHMWPE: da solo costituisce circa un terzo del volume totale delle commodity plastics prodotte.

Il PE è un polimero termoplastico, semicristallino, incolore, inodore, insapore, apolare. Generalmente è reperibile con alti pesi molecolari, ed è grazie alla presenza di soli carbonio e idrogeno che deriva la sua inerzia chimica, essendo resistente ai solventi, agli acidi e alle basi; la polarità quasi nulla del legame C-H lo rende inoltre un ottimo isolante elettrico, nonché termico.

Unico limite per queste applicazioni è il punto di fusione del PE, variabile tra 110°C (LDPE) e 130°C (HDPE), che non ne permette l'utilizzo oltre temperature dell'ordine di 70/100°C.

La regolarità e la semplicità strutturale facilitano l'impaccamento delle macromolecole; le varie forme di PE si differenziano per la lunghezza delle catene, il grado di ramificazione e il grado di cristallinità, fattori che incidono tutti sulla densità del prodotto, parametro attraverso cui sono classificati le diverse tipologie di PE, che possiedono ovviamente differenti processi di produzione: variando infatti opportunamente temperatura, pressione, natura e concentrazione del catalizzatore si ottengono PE con diversi melt flow index (MFI), densità e caratteristiche meccaniche.

Dalla polimerizzazione vinilica radicalica del gas etilene si ottiene il LDPE (low density PE), fortemente ramificato; mentre attraverso i catalizzatori di Ziegler-Natta si ottiene il HDPE (high

density PE), caratterizzato da una struttura più lineare e con ramificazioni più corte, dunque maggiormente cristallino. La polimerizzazione catalizzata da metallocene permette l'ottenimento di UHMWPE (ultra high molecular weight PE), mentre il controllo delle ramificazioni porta alla formazione di LLDPE (linear low density PE) o di ULDPE (ultra light density PE), nonché di XPE (cross-linked PE), o PE reticolato.

Aumentando la densità del polimero di partenza, aumentano la rigidità flessionale, il modulo elastico, il carico di snervamento, la resistenza a trazione, la durezza superficiale, la temperatura di transizione e la resistenza agli agenti chimici; diminuiscono invece la trasparenza ottica e la resistenza a lacerazione e flessione. Aumentando l'indice di melt flow aumentano la fluidità e il coefficiente di attrito, mentre diminuiscono il carico di rottura, la resistenza all'urto e la temperatura di rammollimento. Diminuendo invece l'ampiezza della distribuzione dei pesi molecolari si può aumentare il carico di rottura, la flessibilità, nonché la resistenza all'urto alle basse temperature.

Il PE si presta facilmente a stampaggio, pressofusione, termoformatura, estrusione, soffiatura; le sue applicazioni sono numerose, anche grazie al prezzo economico della materia prima.

L'applicazione principale è sotto forma di film per imballaggi; seguono l'isolamento di cavi elettrici e l'impermeabilizzazione di tubature e guarnizioni, nonché la produzione stessa di tubi per l'acqua fredda. Il grosso limite del PE è la degradazione delle proprietà meccaniche che subisce nel tempo e in seguito all'esposizione ai raggi ultravioletti, dai quali va protetto con opportuni accorgimenti. A tal scopo presso TeMa srl i granuli di HDPE, ancor prima di essere immessi nell'estrusore, vengono mediamente addizionati con l'1% di carbon black (nerofumo).

## **2.2 Polipropilene:**

Il PP si differenzia dal PE per la presenza di un gruppo metilico in sostituzione di un atomo di H in ciascun monomero.

L'introduzione nella catena di un gruppo sostituito al posto dell'idrogeno prevede, come prima conseguenza, l'ottenimento di due diverse configurazioni, a seconda dell'ordine in cui si legano le unità monomeriche: se la successione si sviluppa con il gruppo laterale nello stesso verso, così da alternarlo agli atomi di idrogeno lungo la catena, si ottiene la configurazione testa-coda; viceversa l'altra possibilità è rappresentata dalla configurazione testa-testa, nella quale i gruppi sostituenti si trovano legati ad atomi di carbonio adiacenti.

Nel polipropilene, come nella maggior parte dei polimeri d'altronde, la repulsione polare tra i gruppi sostituenti e il rispettivo ingombro sterico favoriscono la configurazione testa-coda.

La presenza del gruppo metilico porta inoltre alla formazione di tre diverse configurazioni stereochimiche, in base alle quali è classificato il PP: isotattica (il gruppo metilico si trova sempre dalla stessa parte della catena), sindiotattica (l'orientazione del gruppo metilico si alterna regolarmente rispetto alla catena), o atattica (la configurazione degli atomi di carbonio è completamente casuale). E' anch'esso un polimero termoplastico, incolore, inodore ed apolare; industrialmente è utilizzato il PP isotattico, che presenta caratteristiche meccaniche superiori alle altre due varianti (dal comportamento gommoso), dovute alla maggior capacità di impaccamento delle molecole e al conseguente maggior grado di cristallinità.

Il processo per il suo ottenimento è simile a quello di HDPE, caratterizzato dall'utilizzo di catalizzatori stereospecifici per la polimerizzazione del gas propilene.

In commercio è disponibile sotto forma di omopolimero, copolimero casuale o copolimero a blocchi, spesso miscelato con polietilene, che ne aumenta la processabilità e la plasticità.

Le migliori proprietà meccaniche lo distinguono da HDPE in applicazioni specifiche: rispetto a quest'ultimo possiede maggiori carico di snervamento, rigidità torsionale, resistenza a fatica e durezza, perdendo ovviamente in plasticità e flessibilità; fonde a 165 °C, ma infragilisce a basse temperature, a causa della relativamente alta temperatura di transizione vetrosa, circa -20 °C.

Rispetto ad HDPE possiede una minore densità, e può essere facilmente sottoposto a tutte le comuni lavorazioni previste per le materie plastiche, anche se stress termici prolungati a temperature vicine a quelle di fusione possono degradare il materiale, qualora non sia prevista l'introduzione di opportuni stabilizzanti.

Mantiene tuttavia discrete caratteristiche isolanti e di resistenza al calore fino a 140 °C (p.e. si può sterilizzare a 100 °C); è chimicamente inerte, e sebbene non esistano solventi per il PP a temperatura ambiente, esso è addirittura più suscettibile alla degradazione UV e all'ossidazione rispetto al PE: un radicale libero si può formare sul carbonio terziario presente in ogni unità monomerica, permettendone la reazione con l'ossigeno e innescando la conseguente rottura della catena. La diminuzione del peso molecolare medio è considerata infatti la causa principale della riduzione delle prestazioni meccaniche a cui va incontro il PP, e il suo grado di deterioramento può essere dedotto analizzandone la viscosità intrinseca, linearmente correlabile alla resistenza a trazione.

Per applicazioni esterne va opportunamente protetto con additivi stabilizzanti e antiossidanti: analogamente a quanto precedentemente esposto per HDPE, presso TeMa anche in questo caso viene principalmente utilizzato il nerofumo.

## 2.3 Materie Plastiche Rigenerate:

La straordinaria diffusione che ha conosciuto la plastica è dovuta alle numerose proprietà favorevoli, quali ad esempio la sua versatilità d'utilizzo, la facilità di produzione e lavorazione, il peso contenuto, la longevità, la resistenza agli agenti chimici e all'acqua, l'appeal estetico.

Il consumo di materiale plastico nel mondo ha raggiunto l'ordine dei 100 milioni di tonnellate nel 2001, e raddoppia all'incirca ogni 4 anni.

Tuttavia, il problema principale della plastica è rappresentato dalla sua non biodegradabilità: costituisce infatti il 7% in peso dei rifiuti solidi urbani e/o industriali, ma occupa il 20% del loro volume. Nella loro totalità, i rifiuti plastici sono così mediamente composti: 23% LDPE, 17,3% HDPE, 18,5% PP, 12,3% PS, 8,5% PET; solo l'8% della produzione viene riciclato o recuperato, mentre la parte rimanente è destinata allo stoccaggio in discarica.

La tematica riguardante il recupero e/o il riciclo dei rifiuti è di costante attualità, e lo sfruttamento di materiali rigenerati permetterebbe di ottenere un processo dal minor impatto ambientale e di ovviare in gran parte ai costi relativi all'acquisto di materia prima vergine.

Se in alcuni ambiti le materie prime seconde trovano largo impiego da molti anni (ad es. siderurgia), per altre tipologie di materiali il problema si è manifestato solo recentemente: è il caso di plastica, carta e vetro. Ovviamente le difficoltà non mancano: quelle maggiori riguardano la complessità del processo di recupero, la qualità finale della materia prima seconda, che non è sempre paragonabile a quella del materiale vergine, e la necessità di utilizzare opportuni accorgimenti per recuperare le proprietà perse con il precedente uso e l'ulteriore processo di riciclo.

Nel complesso, la produzione di materiali plastici sfrutta l'8% della produzione mondiale di petrolio, mentre il riciclo permetterebbe una riduzione dell'uso stesso di petrolio, la diminuzione del consumo di energia durante il processo di trasformazione/produzione e un migliore smaltimento dei rifiuti, andando a sfruttare in questo modo le materie prime "secondo".

Inoltre, le materie plastiche in commercio non sono pure, trovandosi spesso in miscela tra di loro e contenendo già di per sé numerosi additivi e filler (coloranti, plasticizzanti, tenacizzanti, ecc), che complicano ulteriormente la realizzazione di un efficace riciclaggio.

Allo stato attuale della tecnologia, per la plastica si possono individuare i tre seguenti processi di recupero: meccanico, chimico e attraverso termovalorizzazione.

Il riciclo chimico interessa solo i polimeri di policondensazione e ne permette la scissione e/o il recupero come risorse di approvvigionamento per la produzione di combustibili; la termovalorizzazione si riferisce all'incenerimento dei rifiuti, ma incontra problemi riguardanti l'emissione di fumi e ceneri (contenenti diossine e composti clorurati oltre a piombo e cadmio),

mentre il recupero meccanico è il processo più diffuso, in quanto permette la riconversione di polimeri termoplastici con purezze pari al 99.8%, pur con elevato consumo di solventi organici.

Generalmente ad una prima fase di raccolta, segue il processo di selezione della stessa, in cui è possibile eliminare le frazioni estranee e dividere la plastica in base alla natura del polimero, grazie a processi di separazione per densità, per flottazione, per elettrostaticità (SDP: selective dissolution precipitation) o attraverso tecniche analitiche anche molto complesse, come XPS, XRF o FTIR, che possono fungere anche da tecniche di valutazione del processo stesso. Le fasi successive sono rappresentate dal lavaggio, dalla triturazione, dalla densificazione e infine dall'estrusione: si ottengono in questo modo granuli di materiale rigenerato, esattamente gli stessi che l'azienda intende studiare come materiale di partenza per i propri prodotti: dall'esito delle analisi riguardanti sia la qualità del materiale fornito, sia le performance dei prodotti fabbricati con quest'ultimo, dipenderà la decisione se continuare o meno ad investire su questa nuova risorsa.

## **2.4 Principali Test e Strumenti di caratterizzazione**

All'interno del laboratorio di TeMa, condiviso con i colleghi dell'azienda Tegola Canadese, le analisi che generalmente vengono effettuate si dividono in test sulle materie prime e test sui prodotti finiti.

I test mfi e dsc sono le più basilari caratterizzazioni per le materie prime in arrivo, mentre il prodotto finito viene caratterizzato attraverso le misure di peso e spessore, di resistenza a trazione o compressione e di trasmissibilità idraulica.

Temperatura e umidità del laboratorio sono mantenute stabili, rispettivamente a 23 °C e 25%.

### **2.4.1 DSC:**

La Differential Scanning Calorimetry è una tecnica di analisi in grado di fornire numerose indicazioni sulla composizione e sulle proprietà termiche del campione analizzato: nel corso del tirocinio si è rivelato fondamentale per identificare di volta in volta il polimero in esame e per stimarne il grado di inquinamento, inteso come presenza di polimeri non previsti.

Il cuore dello strumento DSC è rappresentato da due fornelli, all'interno dei quali vengono posti due piccoli crogioli di alluminio, l'uno contenente il campione, e l'altro che funge da riferimento inerte; mentre entrambi vengono sottoposti ad uno stesso programma termico stabilito dalle condizioni operative, il compito dello strumento è quello di regolare la potenza da fornire al campione e al riferimento affinché si trovino sempre alla medesima temperatura. La misura differenziale è il fattore che permette di studiare il segnale indipendentemente da tutti i fattori termici esterni al



**Figura 2.1: Fornetto dsc**

sistema, che, ripercuotendosi su entrambi i campioni, non influiscono sullo svolgimento della prova. La temperatura è rilevata dalle termocoppie poste in contatto con i crogioli portacampioni; il riscaldamento avviene per mezzo di resistenze, mentre il raffreddamento è ottenuto grazie alla circolazione d'acqua e/o azoto gassoso.

Il risultato consiste nel grafico che riporta il valore della differenza di potenza applicata [W] in dipendenza della temperatura imposta dal programma di riscaldamento.

Gli elementi rilevanti del grafico sono rappresentati dai picchi e dalle flessioni della *baseline*, che indicano la variazione di una o più proprietà termiche del campione: studiandone l'intervallo di temperatura e l'intensità è possibile associare ad ognuna di queste alterazioni un preciso significato fisico, quali ad esempio temperatura di transizione vetrosa, temperatura di fusione, entalpia di fusione, percentuale di cristallinità, ecc...; analisi quantitative sono possibili attraverso l'integrazione dei picchi e la preventiva conoscenza del peso del campione, attraverso cui si ottiene l'entalpia della transizione, espressa generalmente in [ J·g<sup>-1</sup> ].

Il range di temperatura dello strumento in dotazione, Perkin-Elmer Dsc6, si estende dai 30 ai 300 °C; per le analisi è stato utilizzato il metodo appositamente creato ad uso interno, denominato “Tema”, consistente in un unico step con rilevazione tra 80–280 °C e incremento di 10 °C/min.

#### **2.4.2 MFI:**

Il test MFI (Melt Flow Index) ha lo scopo di fornire il valore della fluidità del polimero fuso, al fine di valutarne la compatibilità con le impostazioni di macchina nel corso del processo di lavorazione: materiali con elevati valori di mfi si prestano facilmente allo stampaggio a iniezione, mentre mfi più bassi possono essere destinati allo stampaggio per soffiaggio o all'estrusione. In modo approssimativo si possono anche ricavare informazioni sulla distribuzione dei pesi molecolari.



**Figura 2.2: Plastometro Melt Flow Index**

Il test consiste nel valutare la quantità di materiale che fluisce in un condotto cilindrico verticale attraverso un ugello (o filiera) ad una determinata temperatura e sotto l'azione di un determinato carico; l'indice è espresso in  $[g \cdot 10 \text{ min}^{-1}]$ . Un opportuno sistema di riscaldamento-raffreddamento permette di monitorare la temperatura all'interno dello strumento e di mantenerla costante con una precisione dell'ordine del decimo di grado, mentre una fotocellula rileva la corsa del pistone durante lo svolgimento del test. Il software dello strumento in dotazione (Ceast Torino MFI) porge inoltre la velocità media del pistone, espressa in  $[mm \cdot s^{-1}]$ , e la viscosità del polimero  $[Pa \cdot s]$ .

La norma di riferimento è la ISO 1133: il test per il PP si svolge alla temperatura di 230 °C e il carico previsto è di 2.16 kg, la filiera presenta un orifizio di lunghezza 8 mm e diametro 2.095 mm. Nel corso dell'esperienza presso TeMa sono stati riscontrati valori tipici di MFI per il PP isotattico variabili tra 15 e 60  $g \cdot 10 \text{ min}^{-1}$ .

Diversamente il test per il PE si svolge alla temperatura di 190 °C, mantenendo inalterati gli altri parametri; in questo caso valori tipici di MFI rientrano nell'intervallo 0,3 – 3  $g \cdot 10 \text{ min}^{-1}$ .

### **2.4.3 Capacità drenante:**

Lo scopo del test Water Flow consiste nello stimare la quantità di acqua che il prodotto riesce a drenare una volta sottoposto ad un determinato carico, simulando così le condizioni di posa in opera al di sotto del terreno.

L'apparecchiatura utilizzata è formata da due vasche comunicanti, rispettivamente di raccolta e di svuotamento dell'acqua, collegate da un passaggio all'interno del quale viene posto orizzontalmente il campione, di dimensioni 20·40 cm e altezza variabile a seconda del prodotto (dai 5 ai 30 mm). Il campione può trovarsi direttamente a contatto con le pareti della macchina, oppure essere interposto tra uno o più strati di materiale gommoso, che realizzano un contatto più morbido. Sopra il passaggio di collegamento tra le due camere, un pistone ad aria compressa schiaccia il campione con un carico normale alla direzione di flusso, variabile in genere tra 20 e 400 kPa, garantendo inoltre la tenuta stagna del condotto: l'acqua può fluire solamente attraverso il prodotto drenante.

Regolando la quantità di acqua presente nella prima vasca si crea un dislivello tra le due camere, il quale, mantenuto costante nel tempo, viene scelto in base al gradiente idraulico da simulare.

Il gradiente idraulico  $i$ , adimensionale, è così definito:

$$i = \Delta h \cdot L^{-1} \quad , \quad (2.1)$$

rappresentando  $\Delta h$  la perdita di carico lungo il percorso all'interno del geosintetico [m] ed L la distanza tra due punti lungo la direzione di flusso, anch'essa espressa in [m].

A questo punto, in dipendenza dal gradiente idraulico applicato, si valuta il volume d'acqua (assumendone densità pari a  $1 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) che il prodotto è in grado di drenare nell'intervallo di tempo: si ottiene la portata specifica  $q$ , espressa in  $[\text{l}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$ , la quale divisa per il suddetto coefficiente idraulico  $i$  porge il coefficiente di trasmissibilità.

Per effettuare una valutazione completa della capacità drenante nel piano, la normativa di riferimento è la UNI EN ISO 12958: sono previsti tre water flow per ogni tipologia di prodotto, ai carichi di 20, 50 e 100 kPa; in ogni singolo test i gradienti simulati sono pari a 0.04, 0.1, 0.5 e 1, corrispondenti rispettivamente a 12, 30, 150 e 300 mm di dislivello tra le due vasche.

#### 2.4.4 Prova di Trazione e Compressione:



**Figura 2.3: Dinamometro Shimadzu da 50kN**

Grazie alle prove di trazione e/o compressione si ricavano le informazioni fondamentali riguardanti le caratteristiche di resistenza del materiale, quali il modulo elastico, il carico di snervamento, il massimo carico sostenibile, il carico e l'allungamento a rottura.

Tali prove vengono condotte sfruttando un dinamometro, il cui software, grazie alla cella di carico in grado di misurare istante per istante la forza applicata al provino e grazie all'estensimetro che ne misura l'allungamento, fornisce al termine di ogni test il rispettivo diagramma  $\sigma/\epsilon$ , o sforzo-deformazione.

Tale diagramma non è univoco per ogni tipologia materiale in esame, ma dipende fortemente dai parametri operativi scelti e dalla geometria del provino utilizzato: tutte queste variabili sono standardizzate dalle numerose normative, che permettono di ottenere risultati riproducibili e confrontabili.

I provini, ad esempio, hanno forme diverse a seconda del materiale da testare, ma tutti hanno la parte interna più sottile e le estremità più robuste da agganciare agli afferraggi, l'uno fisso, e l'altro solidale alla traversa mobile della macchina.

Il diagramma è generalmente composto da una prima fase lineare, corrispondente al comportamento elastico e reversibile del materiale, a cui fa seguito la fase di snervamento, che rappresenta l'inizio del comportamento plastico permanente e anticipa la formazione dell'eventuale collo di strizione.

Per quanto riguarda le materie plastiche, la situazione diventa ancora più complessa, in quanto durante tali prove intervengono i fenomeni viscoelastici tipici dei polimeri; essi inoltre risentono notevolmente delle variazioni di temperatura o di velocità di applicazione dello sforzo, complicando

ulteriormente l'orizzonte dei possibili comportamenti riscontrabili.

I polimeri possono pertanto assumere qualsiasi tipologia di comportamento, a seconda che si trovino al di sopra o al di sotto della temperatura di transizione vetrosa, che siano più o meno cristallini, che siano termoplastici o elastomeri; tuttavia, sfruttando il principio di sovrapposizione tempo-temperatura è possibile avanzare delle ipotesi e ricavare informazioni sul comportamento del materiale anche in condizioni molto diverse da quelle ricreate nel corso della prova.

Analogamente si tratta la prova a compressione, anche se modalità e risultati sono diversi rispetto alla prova di trazione: per esempio, materiali fragili hanno un carico di rottura a compressione superiore rispetto a quello di trazione, in quanto le modalità di propagazione della frattura e/o concentrazione degli sforzi sono differenti. Nella prova di compressione, ad esempio, il campione non deve essere troppo lungo, per evitare flessioni spurie o instabilità, ma nemmeno troppo corto, per evitare che l'attrito alle estremità dello stesso complichino lo stato di tensione monoassiale.

Tali prove sono ritenute fondamentali nella caratterizzazione dei prodotti TeMa, in quanto destinati al settore edilizio: il loro compito principale sarà quello di mantenere le prestazioni iniziali anche una volta sottoposti a sforzi prolungati di trazione, taglio o compressione.

Nel corso del tirocinio si è fatto uso di un dinamometro Shimadzu da 50 kN per eseguire prove di trazione sia sulle miscele sperimentali, sia sui prodotti fabbricati con queste ultime.

Per quanto riguarda la prima categoria, sono stati ricavati dei provini ad osso di cane, corrispondenti alla normativa UNI EN ISO 527-1, utilizzando la fustellatrice meccanica presente nel laboratorio.

La velocità di allontanamento delle ganasce del dinamometro è stata impostata a 50 mm/min; inoltre, al fine di tendere il provino prima del test, veniva applicato un leggero pre-carico.

Previo l'inserimento manuale dei valori effettivi di larghezza e spessore del tratto utile di ciascun provino, il software era in grado di calcolare le grandezze ritenute rilevanti in questo test, dal carico di snervamento (corrispondente sempre al carico massimo) allo sforzo massimo, dalla deformazione a rottura al carico di rottura.

Per quanto riguarda i test sui prodotti finiti, veniva di volta in volta selezionata la normativa di riferimento, seguendo le modalità di effettuazione del test e di rilevazione dei dati. Per alcuni prodotti venivano eseguite trazioni a banda stretta, seguendo la normativa UNI EN ISO 12311-2; mentre per altri manufatti venivano eseguite trazioni a banda larga, seguendo la normativa UNI EN ISO 10319, che richiedeva campioni con dimensioni di 20·20 cm e velocità di allontanamento delle ganasce pari a 20 mm / min.

### 2.4.5 *Peso e Spessore*

Il controllo del prodotto finito comprende anche le misurazioni dei pesi e degli spessori, che devono rientrare entro specifici standard. Seppur operazioni molto semplici che necessitano di una comune bilancia e di un comparatore elettronico, seguono le norme UNI EN ISO 9864 (peso) e UNI EN ISO 9863-1 (spessore): pesando più campioni di misure 10·10 cm si ricava il peso in grammi, che moltiplicato per 100 permette di stimare il peso in  $[g \cdot m^{-2}]$ ; sottoponendo poi gli stessi campioni ad un carico di 2 kPa, (corrispondente in questo caso ad una massa di 2 kg), si ricava lo spessore, espresso in [mm].

### 2.4.6 *Creep*

Il test di creep serve a monitorare e a prevedere il comportamento in esercizio del prodotto, permettendo di riscontrare il fenomeno della risposta viscoelastica ritardata tipica delle materie plastiche: sottoponendo il provino ad uno sforzo costante nel lungo periodo, la sua deformazione, dopo un'iniziale crescita istantanea, continua ad aumentare, seppur con velocità decrescente col passare del tempo. Ciò accade poiché le catene polimeriche subiscono una deformazione permanente, qualora il tempo di applicazione del carico sia stato sufficientemente lungo da consentire una traslazione relativa tra i baricentri delle macromolecole.

In fase di progettazione è fondamentale prevedere questo aspetto: a tal fine sono stati avanzati numerosi modelli e teorie (p.e. modello di Maxwell o di Kelvin-Voigt), che simulano il comportamento elastoplastico attraverso la combinazione in serie o in parallelo di più elementi elastici e/o plastici, rappresentati da molle e pistoni.

Il dato da ricercare, seguendo la normativa di riferimento (UNI EN ISO 25619-1), è lo spessore del geocomposito, misurato dopo che il provino è stato sottoposto ad uno sforzo normale di 100 kPa per un tempo 1000 ore; si ottiene inoltre la cedevolezza, rapporto tra la deformazione ottenuta e la sollecitazione applicata, alla temperatura cui è stata effettuata la prova.

# Capitolo 3

## Miscela a base di polipropilene

### 3.1 Obiettivi ed ipotesi di lavoro

La scelta di lavorare con il polipropilene per la fabbricazione di geosintetici nasce dalla necessità di sviluppare un prodotto all'apparenza semplice, ma che dovesse garantire tenacità e resistenza a compressione, mantenendo costante nel tempo la capacità drenante e la funzione antierosiva, senza interagire chimicamente con il terreno: il polipropilene risponde bene a tutte queste richieste, è facile da trasformare e versatile dal punto di vista applicativo.

Negli ultimi anni tuttavia il prezzo della materia prima è costantemente cresciuto, e le previsioni future mantengono il trend al rialzo per quanto riguarda i prossimi anni.

Da queste premesse trae origine l'esigenza di ricercare nuove e più vantaggiose fonti di approvvigionamento, guardando con interesse al mondo delle materie plastiche riciclate e/o rigenerate, le cosiddette materie prime seconde. Al fine di valutarne il possibile utilizzo in future produzioni, l'azienda si propone di studiare preventivamente l'influenza del polipropilene rigenerato sui parametri di processo e sulla qualità del prodotto finito.

E' all'interno di questa politica che si inquadra lo svolgimento del mio tirocinio presso l'azienda.

Gli obiettivi da conseguire erano dunque l'analisi accurata delle materie prime e la caratterizzazione del prodotto ottenuto miscelando polipropilene vergine e polipropilene riciclato.

Precedentemente al mio arrivo in azienda erano già state fatte delle ricerche di mercato in modo da individuare un fornitore di granulo riciclato di qualità soddisfacente; erano dunque a mia disposizione due diverse tipologie di materiale riciclato: una si presentava sotto forma di granulo scuro (diverso dal vergine solo per quanto riguarda



**Figura 3.1: esempio di granulo rigenerato**



**Figura 3.2: scaglie di PP riciclato**

il colore, figura 3.1), l'altra sotto forma di scaglie dall'aspetto irregolare (figura 3.2), ottenute dalla macinazione degli sfridi. Anche le miscele destinate all'integrazione con il riciclato si differenziavano in due categorie: la prima era infatti destinata alla

produzione dei prodotti drenanti, mentre la seconda era la miscela di partenza per i prodotti antierosivi e per la linea “football”.

Non mi è permesso citare qui le composizioni delle miscele regolarmente utilizzate, particolari che fanno parte dei segreti aziendali, ma solo la provenienza dei polipropileni vergini, che l'azienda acquista principalmente presso Lyondell-Basell, Dow Chemicals e Borealis.

L'azienda si preme lo scopo di relazionare la qualità della materia prima seconda con la qualità del prodotto finito, per le problematiche esposte precedentemente nel paragrafo riguardante i materiali riciclati: il nuovo manufatto dovrà mantenere le stesse caratteristiche di quello ottenuto con la miscela vergine, per cui risulta fondamentale stabilire quale sia la massima percentuale utilizzabile di PP riciclato per non compromettere le prestazioni del prodotto.

Si ritiene ragionevole studiare l'aggiunta di una quantità via via crescente di rigenerato all'interno della ricetta classica, con l'obiettivo primario di avviare la produzione utilizzando miscele contenenti tra il 20% e il 30% di rigenerato, che in base alle aspettative viene ritenuto il risultato limite al quale sia possibile tendere.

Mantenendo inalterato dunque il rapporto tra i componenti base, ci si propone di preparare le due miscele introducendo il 20%, il 40% e il 60% di rigenerato, sotto entrambe le forme (granulo e scaglia); poiché si ritiene la seconda miscela meno suscettibile di cambiamento, con quest'ultima si è deciso di fare un tentativo in più con solo il 10% di aggiunta di rigenerato.

## **3.2 Fasi preliminari**

Il lavoro si articola dunque in tre fasi distinte: partendo dalla preparazione delle miscele, si prosegue con la loro analisi, fino a giungere alla caratterizzazione del prodotto ottenuto con l'aggiunta di rigenerato nella proporzione che sarà in seguito ritenuta adatta.

Nella pagina seguente è proposta la Tabella 3.1 con le composizioni percentuali delle varie miscele, la cui sigla le identificherà nel corso di tutto il lavoro.

La miscela 1 (prodotti drenanti) è originariamente formata da una miscela 75/25 tra polipropileni che indicativamente chiamerò 1 e 2; mentre la seconda miscela (prodotti antierosivi) è formata da una miscela 66/33 tra i polipropileni 1 e 3.

Ad esse, aggiungo le quantità convenute di polipropilene rigenerato in scaglia e/o in granulo.

Miscela	% PP 1	% PP 2	% PP 3	% PP granulo	% PP scaglia	Nome miscela	
1	75	25	0	0	0	1_1	riferimento
1	60	20	0	20	0	1_2	
1	60	20	0	0	20	1_3	
1	45	15	0	40	0	1_4	
1	45	15	0	0	40	1_5	
1	30	10	0	60	0	1_6	
1	30	10	0	0	60	1_7	
2	66,67	0	33,33	0	0	2_1	riferimento
2	53,328	0	26,664	20	0	2_2	
2	53,328	0	26,664	0	20	2_3	
2	39,996	0	19,998	40	0	2_4	
2	39,996	0	19,998	0	40	2_5	
2	26,664	0	13,332	60	0	2_6	
2	26,664	0	13,332	0	60	2_7	
2	59,994	0	29,997	10	0	2_8	
2	59,994	0	29,997	0	10	2_9	

**Tabella 3.1: composizione percentuale delle miscele sperimentali**

La realizzazione pratica delle miscele è avvenuta utilizzando l'estrusore pilota monovite presente nel reparto di produzione dell'azienda. Lo scopo era quello di raccogliere il fuso in uscita dalla testa dell'estrusore e depositarlo via via su dei supporti di legno dritti e lisci, cercando di mantenerlo il più possibile lineare e privo di assottigliamenti e/o aggrovigliamenti.

Le temperature nel corpo dell'estrusore erano state impostate tra 175 °C (imbocco) e 195°C (testa), in modo da favorire il raccoglimento della miscela senza renderla eccessivamente fluida.

La velocità di rotazione della vite, pari a 25 giri al minuto, permetteva di ricavare manualmente delle fascette, larghe 4-5 cm e alte circa 1-2 mm, operazione critica che, nonostante l'impegno per non stirare il fuso in uscita o alterarne la deposizione sul supporto, non permetteva tuttavia di ottenere strisce perfettamente regolari e prive di difetti.

Con l'aumentare del tenore di rigenerato, sia sotto forma di granulo che di scaglia, la miscela diventava sempre meno fluida, favorendo l'ottenimento di campioni in buone condizioni; d'altra parte le miscele di riferimento e quelle con un basso tenore di rigenerato risultavano molto difficili da utilizzare a tal scopo, presentando un rilevante ritiro dimensionale durante il raffreddamento e la tendenza ad avvolgersi su se stesse, una volta estruse.

La fase successiva è completamente dedicata all'analisi delle miscele ottenute.

### 3.3 Analisi delle miscele ed elaborazione dei dati:

Per ciascuna miscela era prevista l'esecuzione di almeno due test dsc e altrettanti test mfi, con le modalità precedentemente esposte, nonché l'esecuzione dei test a trazione sui provini da esse ricavati.

Sull'insieme di tutti i dati ottenuti da queste analisi si sono basate le successive ipotesi di produzione di alcuni prototipi, destinati alle verifiche prestazionali.

Nell'appendice verranno riportati, a titolo esemplificativo, alcuni report dei vari test svolti, sia sulle materie prime, che sui prodotti finiti.

#### 3.3.1 Test MFI

Vengono proposti qui di seguito i grafici che sintetizzano i risultati dei test mfi: i valori riportati corrispondono alla media di almeno due misure per ciascuna miscela.

L'indice di melt flow per la miscela 1 presenta il seguente andamento:

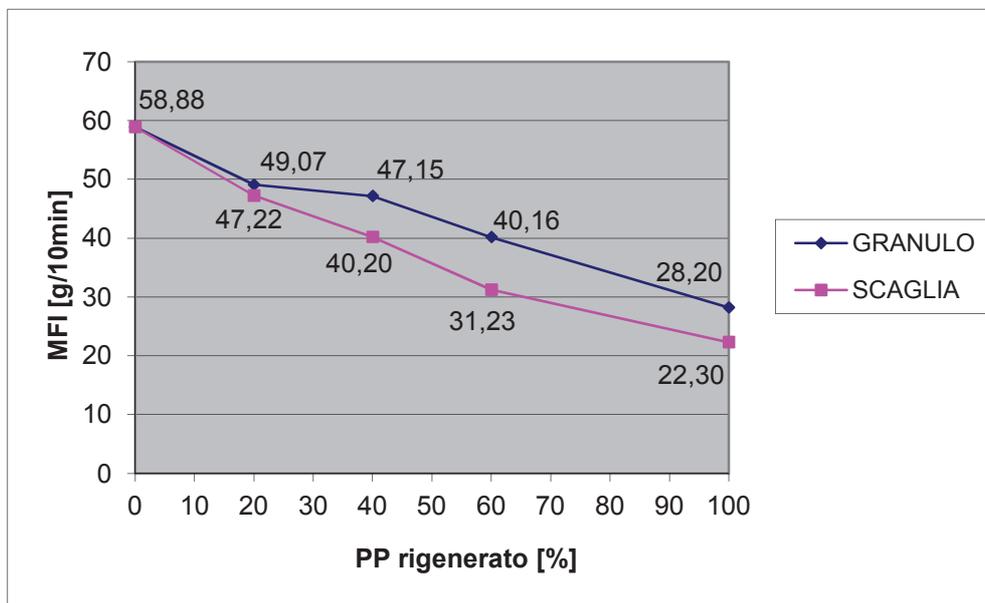


Figura 3.3: variazione dell'indice di melt flow per la prima miscela

La miscela 2 assume invece il seguente comportamento:

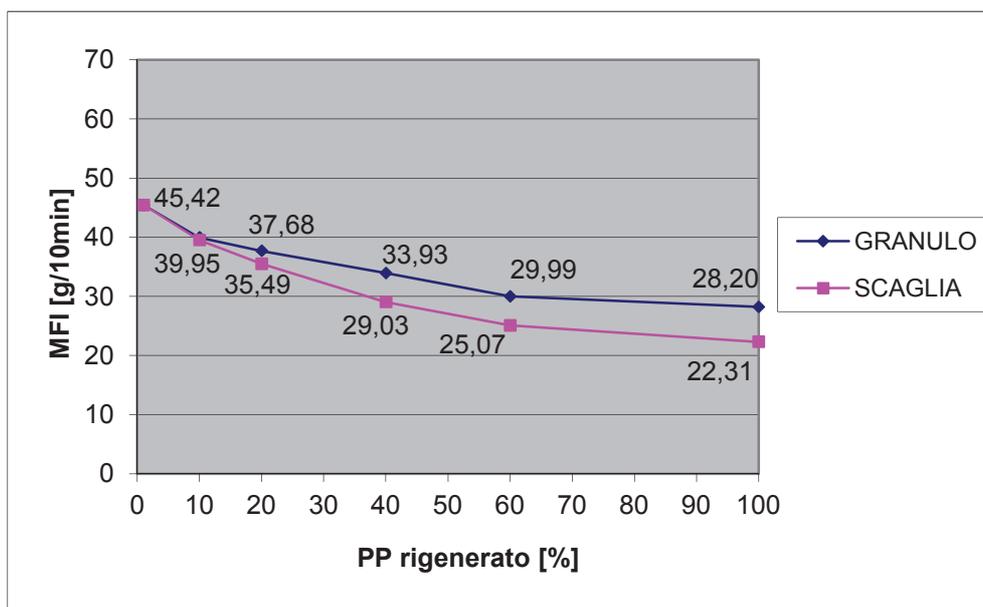


Figura 3.4: variazione di MFI relativa alla seconda miscela

Premettendo che le miscele 1 e 2 standard possiedono indice di melt flow rispettivamente pari a  $58 \text{ g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$  e  $45 \text{ g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$ , si nota che in tutti i casi l'indice decresce linearmente con l'aumentare del tenore di rigenerato, avendo quest'ultimo un valore pari a  $28 \text{ g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$  per il granulo e di  $22 \text{ g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$  per la scaglia.

I dati sperimentali confermano dunque la caratteristica ponderale dell'indice mfi, ipotesi ragionevolmente formulata in partenza.

A livello produttivo, l'obiettivo è quello di utilizzare una miscela che non abbassi il valore di melt flow di oltre 10 punti rispetto alle miscele di riferimento.

Sebbene la seconda miscela possa tollerare un'aggiunta di rigenerato fino al 30 – 35%, si nota che un'introduzione del 20 – 25% permette di mantenere l'indice entro il riferimento scelto in entrambe le miscele, mentre con quantità percentuali superiori la fluidità risulta eccessivamente diminuita, influenzando in modo ponderante i parametri di processo (velocità e temperatura di estrusione), che andrebbero completamente rivisti e ottimizzati, con evidenti sprechi di tempo e risorse, che annullerebbero il beneficio iniziale.

Alla luce dei risultati, viene inoltre confermata l'ipotesi iniziale, secondo cui la seconda miscela sarebbe risultata meno suscettibile di cambiamento rispetto alla prima.

### 3.3.2 Analisi DSC

Un altro importante fattore preso in considerazione è la qualità del rigenerato introdotto all'interno della miscela, e come indice di valutazione viene considerata la purezza del polipropilene, o più precisamente il livello di inquinamento dello stesso, inteso come presenza di altri polimeri all'interno del rigenerato, inevitabile conseguenza del processo di riciclo.

Come si può riscontrare dai risultati pubblicati nell'appendice, le analisi dsc dei polipropileni rigenerati e delle miscele hanno evidenziato la presenza di HDPE in quantità consistenti, mentre vengono individuate tracce di poliammide 6,6 e polietilentereftalato, che tuttavia non destano preoccupazione riguardo la qualità e le prestazioni del manufatto, ma sono ritenuti critici in fase di estrusione della miscela.

La presenza di HDPE, riscontrabile pur in quantità limitate anche all'interno delle materie prime vergini (come ad esempio il PP copolimero utilizzato nella miscela base), va valutata oltre che per la possibilità di influire sulla qualità del processo produttivo, anche per non inficiare in modo eccessivamente negativo sulle caratteristiche meccaniche del prodotto finito.

Vengono proposti qui di seguito i grafici che sintetizzano i risultati delle analisi dsc relativamente alla quantità di inquinamento di HDPE presente nelle miscele; anche in questo caso i valori riportati corrispondono alla media di almeno due misurazioni.

La prima miscela ha presentato il seguente comportamento:

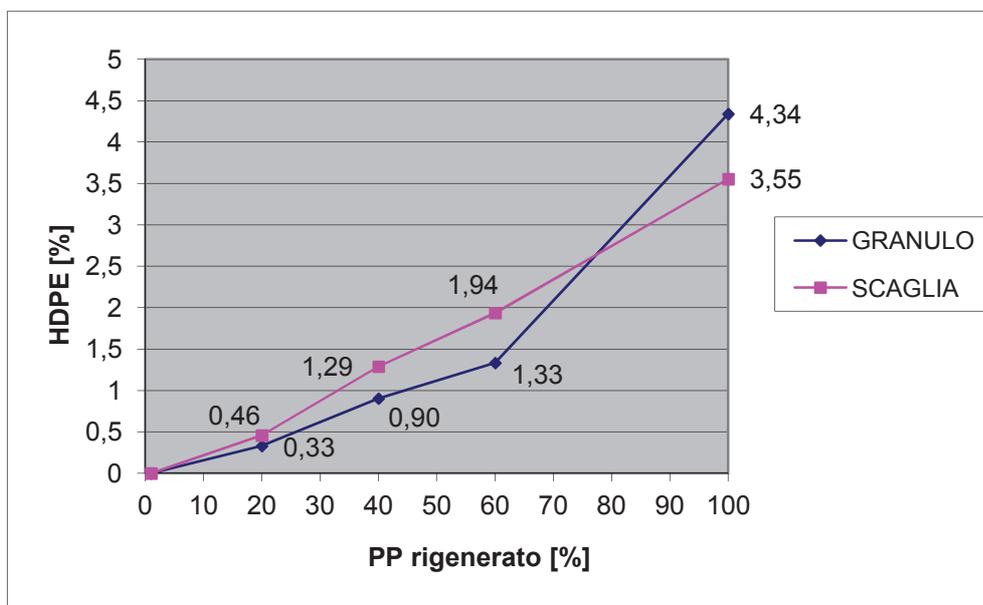


Figura 3.5: quantità percentuale di HDPE presente all'interno della prima miscela

L'analisi della seconda miscela conferma l'andamento dei risultati ottenuti con la precedente:

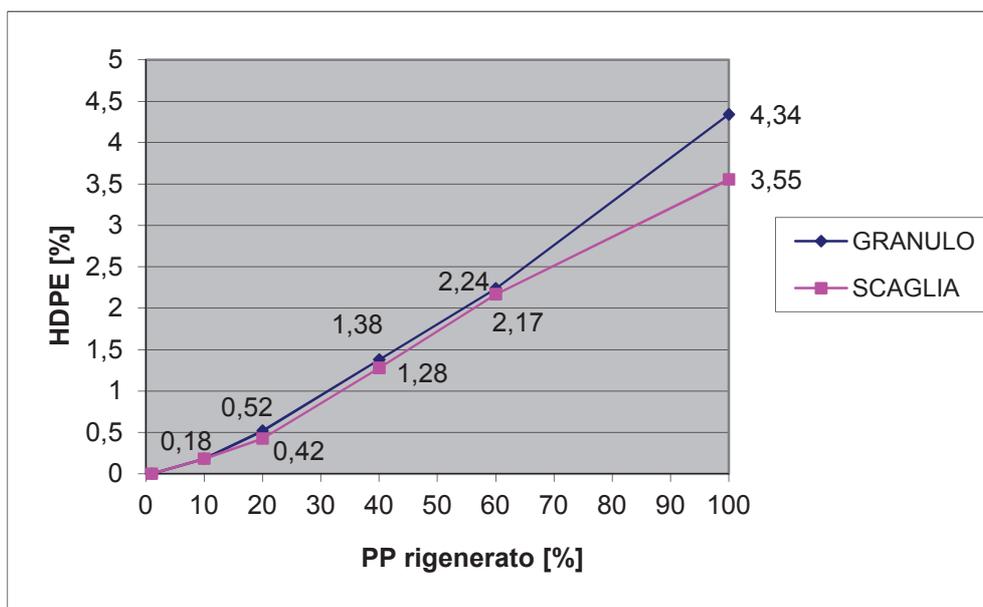


Figura 3.6: quantità percentuale di HDPE nella seconda miscela

A questo punto è necessario esporre il calcolo attraverso il quale è stata estrapolata la quantità percentuale in peso di HDPE presente nei campioni delle varie miscele, sottolineando come una corretta valutazione dell'inquinamento da HDPE rappresentava il dato di maggior interesse per l'azienda e quindi si configurava come passo fondamentale per il successivo sviluppo del tirocinio stesso. Dal manuale dello strumento e dalla letteratura è stata ricavata la seguente formula, da utilizzare per stimare la quantità percentuale di un componente presente in misura limitata (si considera come limite massimo il 5%):

$$\%HDPE = \frac{\Delta H_{f,HDPE}}{\Delta H_{f,HDPE}^*} \cdot 100 \quad , \quad (3.1)$$

dove  $\Delta H_{f,HDPE}$  rappresenta il calore di fusione del polietilene, calcolato dallo strumento integrando l'area del picco d'interesse, mentre  $\Delta H_{f,HDPE}^*$  è il valore teorico dell'entalpia di fusione dell'elemento considerato.

Lo strumento suggeriva per  $\Delta H_{f,HDPE}^*$  un valore pari  $293 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ , in accordo con la letteratura, ma che fornisce il calore teorico di fusione di un polietilene 100% cristallino, assunzione che si discosta molto dalla realtà in esame.

Considerata la disponibilità di diverse qualità di HDPE commerciali presenti in azienda, si è deciso di utilizzare dei dati sperimentali autonomamente ricavati per assumere il corretto valore di  $\Delta H_{f,HDPE}^*$ : la scelta è ricaduta sul valore più riscontrato tra tutti quelli esaminati (che spaziavano da 145 a 192 J·g<sup>-1</sup>), pari a 172 J·g<sup>-1</sup>.

I calcoli eseguiti secondo la (3.1) fornivano tuttavia dati con una dispersione tale da infondere alcuni dubbi sull'applicabilità della formula stessa, in quanto i valori di  $\Delta H_{f,HDPE}^*$  ottenuti dallo strumento presentavano un grande variabilità, all'inizio quasi inspiegabile.

In seguito ad una valutazione più attenta, si è ipotizzato di correlare i valori di  $\Delta H_f$  del polietilene con quelli del polipropilene stesso, dirigendosi quindi verso un'analisi dal carattere comparativo.

Alla formula (3.1) si è deciso di aggiungere pertanto un termine che permettesse di normalizzare l'area del picco di HDPE rispetto a quella del picco di PP, pertanto risulta

$$\%HDPE = \frac{\Delta H_{f,HDPE}}{\Delta H_{f,HDPE}^*} \cdot \frac{\Delta H_{f,PP}^*}{\Delta H_{f,PP}} \cdot 100 \quad , \quad (3.2)$$

ricavando, esattamente come in precedenza, il valore di  $\Delta H_{f,PP}$  dall'integrazione del picco effettuata dal software e assumendo per  $\Delta H_{f,PP}^*$  (entalpia teorica di fusione del polipropilene) un valore pari a 110 J·g<sup>-1</sup>.

In seguito alla definizione della formula (3.2), il problema principale era quello di ricavare dallo strumento un dato attendibile di  $\Delta H_{f,HDPE}$ .

Nella prassi, l'integrazione di due picchi non perfettamente separati avviene dividendo l'area totale in due parti con una verticale a partire dal punto di massimo locale della funzione, assumendo che l'area appartenente al secondo picco inevitabilmente aggiunta a quella del primo sia pressoché uguale all'area del primo picco aggiunta a quella del secondo (figura 3.7)

In questo modo si può, attraverso l'integrazione dei due picchi così separati, ricavare i corrispondenti valori di  $\Delta H_f$ .

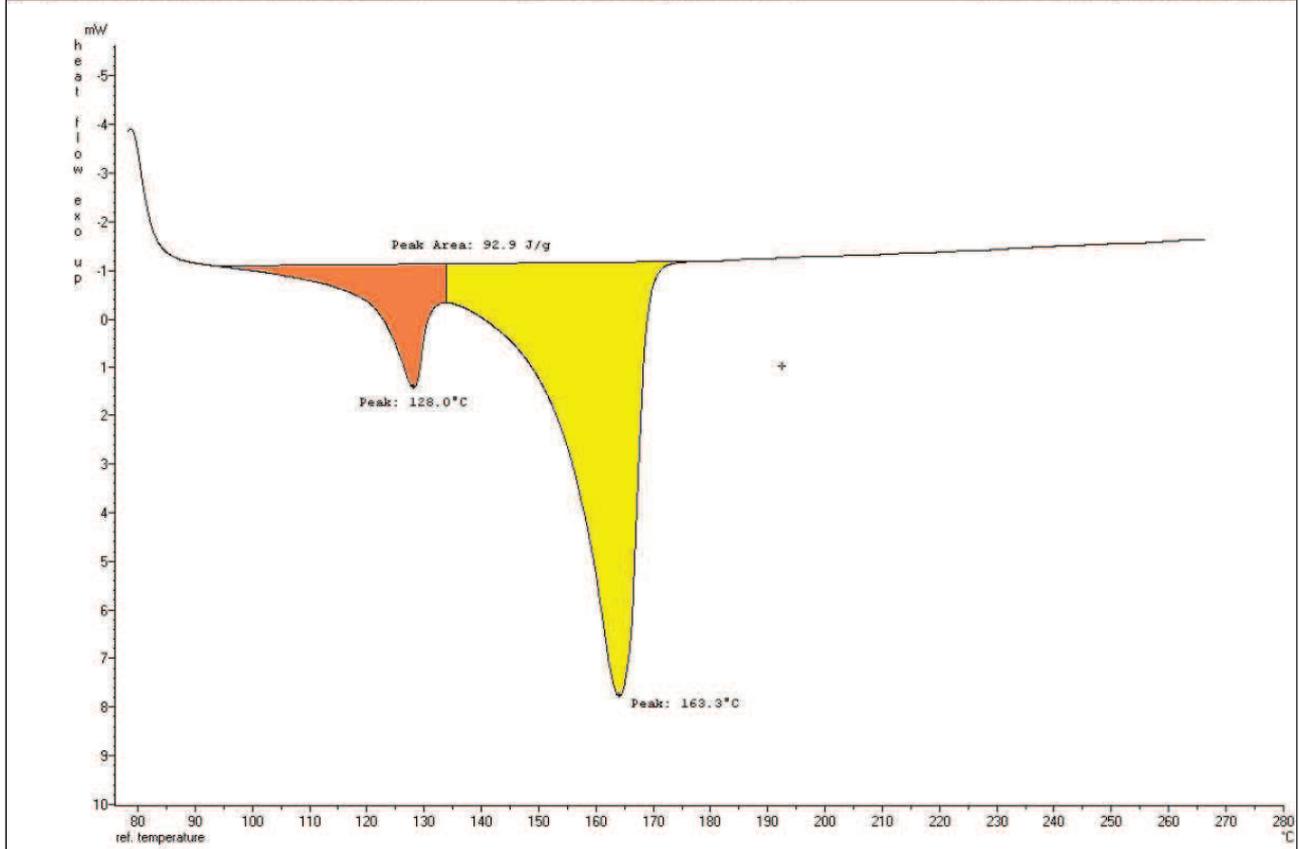


Figura 3.7: tecnica convenzionale per la separazione di due picchi non perfettamente distinti

Bisogna notare come nel caso riportato in figura i due picchi siano entrambi rilevanti, e non sia possibile trascurarne uno rispetto all'altro. Non è dunque la situazione presentatasi nell'analisi delle varie miscele, come si può appurare confrontando la figura 3.7 con l'analisi dsc della miscela 2\_6 presente in appendice: nell'applicare questa procedura per stimare l'estensione del picco di HDPE sarebbe stato enormemente sovrastimato il suo valore.

Con riferimento alla figura 3.8, se si confrontano i risultati del dsc della miscela base (quindi PP privo di inquinamento) con quelli delle miscele contenenti polipropilene rigenerato in quantità sempre maggiori, ci si accorge come la differenza tra i vari grafici consista nel leggero scostamento attorno ai 123 °C rispetto alla curva principale, che tra i due casi non subisce alcuna variazione: considerare come picco di HDPE tutta l'area racchiusa tra la baseline, il picco di HDPE e l'ipotetica retta verticale, vorrebbe dire commettere un errore grossolano.

A fronte di ciò, si è deciso di considerare come picco di HDPE solamente l'area che si discosta dalla curva principale relativa al PP: ci si aspetta una leggera sottostima, ma l'errore sarà ragionevolmente più contenuto.

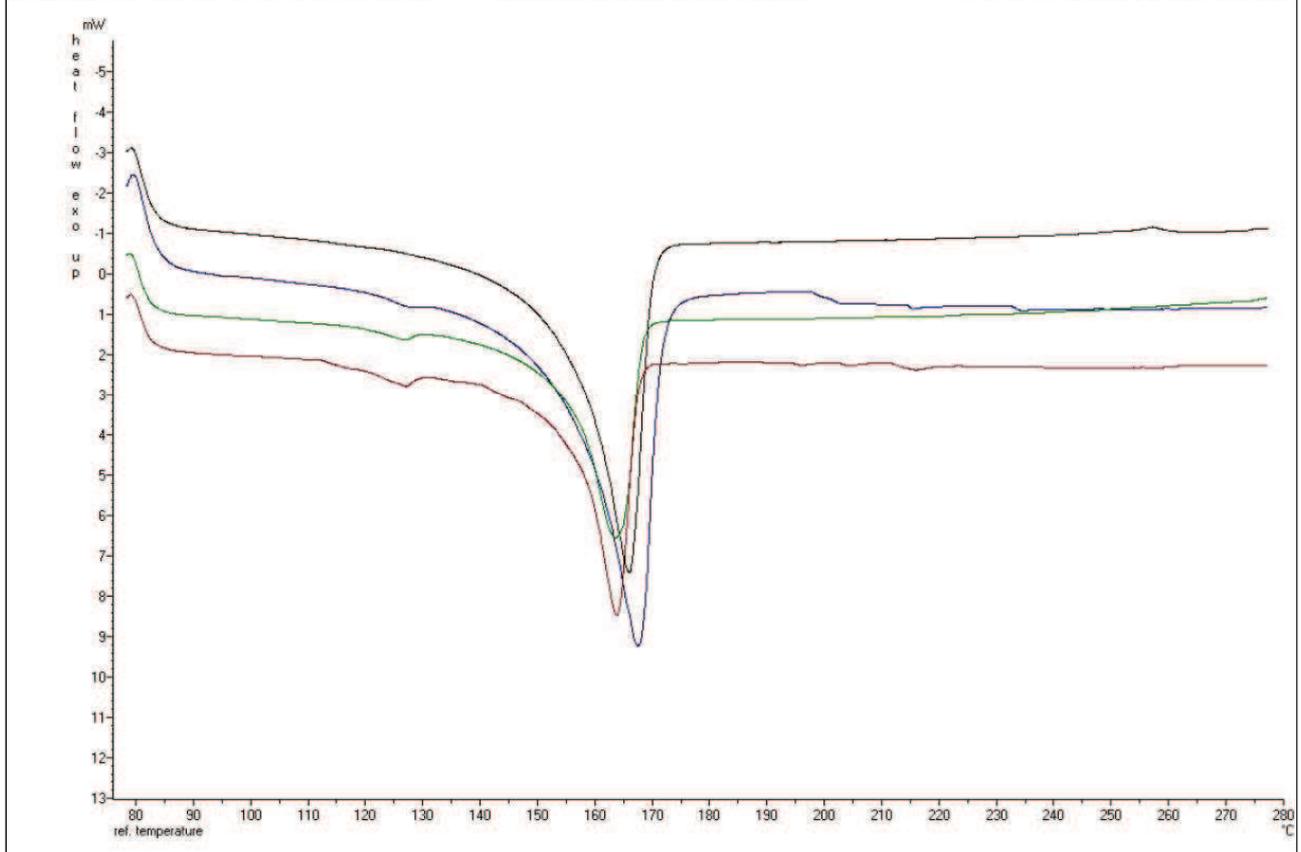


Figura 3.8: confronto dell'analisi dsc di più miscele. Dall'alto verso il basso: mix 1\_1, mix 1\_2, mix 1\_4, mix 1\_6.

Per sostenere tale scelta, è stata eseguita l'analisi dsc su un campione del quale si conoscevano le quantità presenti di HDPE (0.7 mg) e PP (9.1 mg), eseguendo il test dsc dapprima sui campioni separati e poi simultaneamente presenti nello stesso crogiolo.

Riporto in figura 3.9 i risultati ottenuti, per focalizzare l'attenzione sui grafici dei singoli componenti (curve in alto) e su quello della loro miscela, riportato più in basso.

Si nota come il grafico della miscela corrisponda esattamente alla somma dei grafici dei singoli componenti.

In questo caso, a fronte di un contenuto ponderale effettivo di polietilene del 7,69 %, la (3.2) fornisce un valore di 6,32%, ( - 17.8% ) mentre la procedura standard (3.1) porge 10,19 % (+33%).

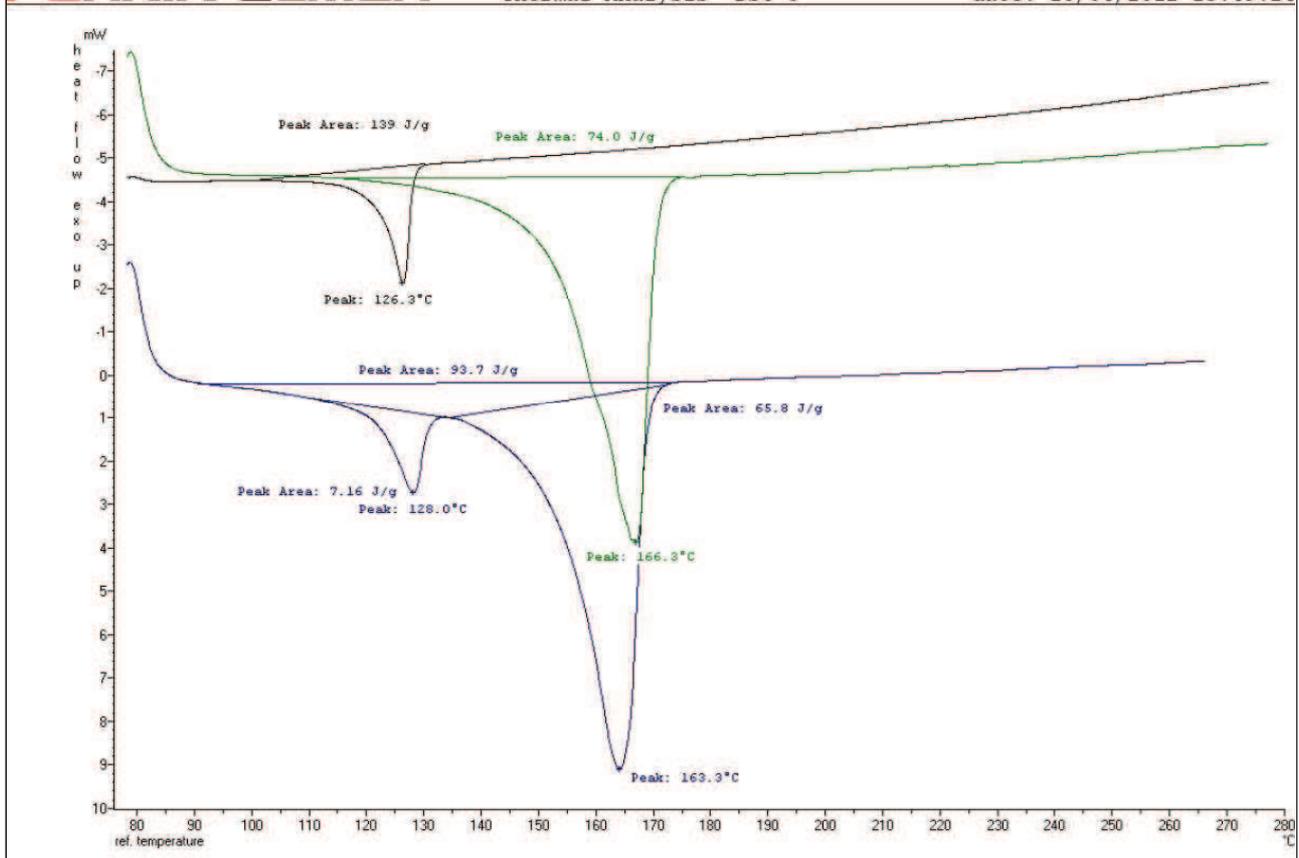


Figura 3.9: confronto tra le analisi dsc di due componenti separati (in alto) e in miscela (in basso).

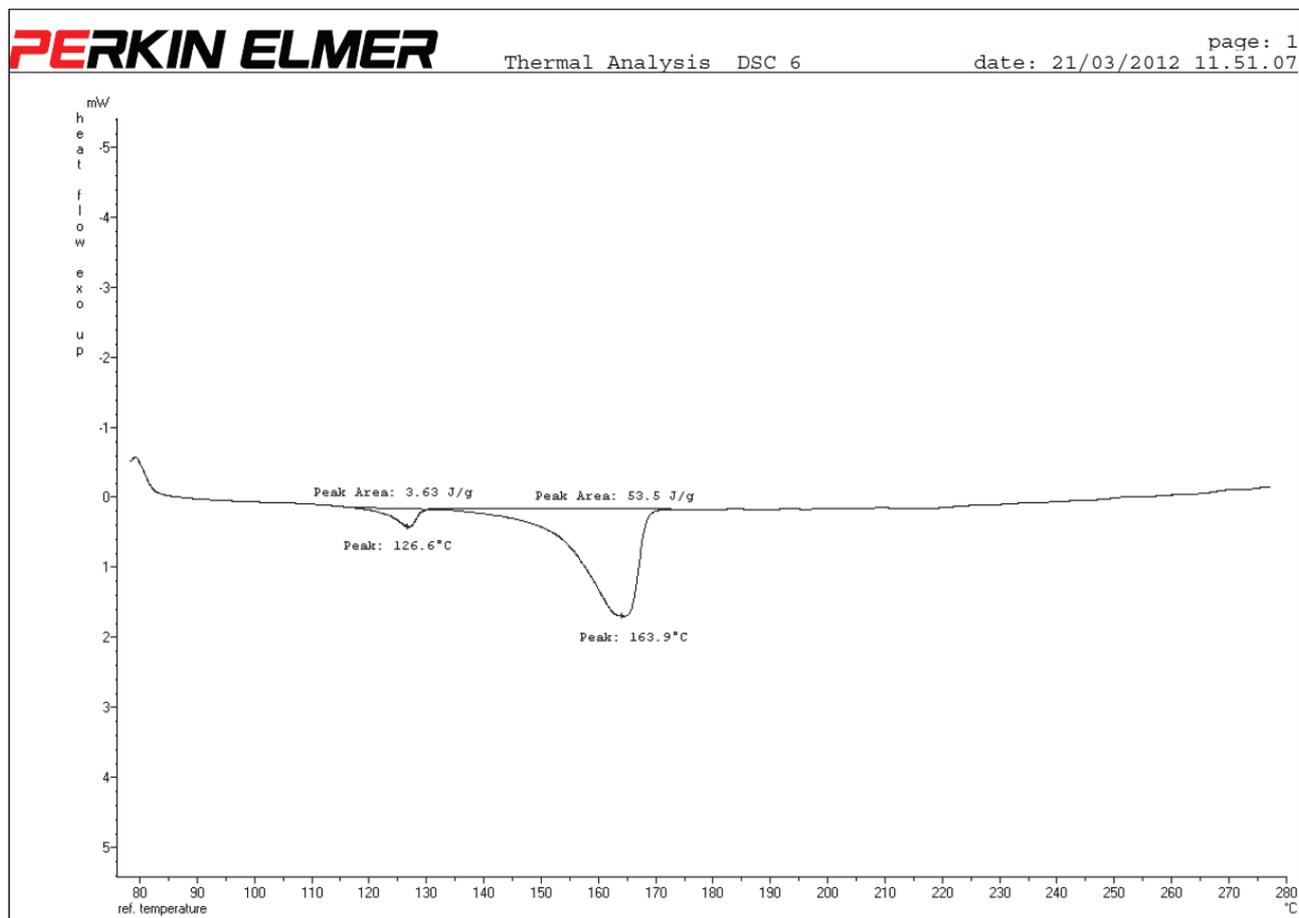
La medesima procedura è stata ripetuta con un campione contenente 1.1 mg di HDPE e 10.9 mg di PP: rispetto ad un contenuto effettivo del 9,16%, la formula (3.1) fornisce una percentuale di HDPE pari a 13,63% (+ 48.8%), mentre la (3.2) porge 8,76% (- 4.3%).

Si riscontra chiaramente come la formula ricavata sottostimi leggermente la quantità d'inquinamento presente, ma fornisca un dato certamente più plausibile e vicino alla realtà rispetto alla procedura classica, che nell'ultimo caso aveva fornito un valore quasi del 50% superiore rispetto al dato reale, un errore troppo ampio per poter essere trascurato.

Chiarito questo aspetto, si possono fare alcune semplici considerazioni per esprimere il comportamento manifestato dalle miscele.

Il tenore di HDPE cresce linearmente in tre delle quattro miscele esaminate, rispettando le previsioni, mentre nella miscela 1 integrata con granulo rigenerato siamo in presenza di una sottostima, come testimonia l'andamento del grafico 3.5.

A sostegno di ciò, sottolineo come la massima percentuale di inquinamento, ricavata dall'analisi dsc delle materie prime rigenerate, sia stata estrapolata dalla figura 3.10, nella quale i picchi di HDPE e PP sono ben separati, evitando le difficoltà esposte precedentemente e permettendo una facile quantificazione delle relative quantità percentuali ponderali.



**Figura 3.10: analisi dsc di granulo di polipropilene riciclato**

Nel caso esaminato in figura, riferito all'analisi dsc del solo granulo rigenerato, sempre utilizzando la formula (3.2) si ricava un contenuto percentuale di HDPE pari al 4,33 % in peso.

### 3.3.3 Test di trazione

Dalle miscele sperimentali sono stati ricavati dei provini da sottoporre ai test di trazione, con le modalità precedentemente indicate; un esempio dei test eseguiti è presente nell'appendice.

I risultati sono poi stati elaborati, e le medie riportate nei grafici seguenti, che hanno permesso di abbozzare delle previsioni sul comportamento delle miscele in una successiva fase di produzione.

I dati ritenuti rilevanti e sui quali si sono basate le successive considerazioni sono stati lo sforzo massimo, la deformazione percentuale a sforzo massimo e la deformazione percentuale a rottura.

La prima miscela ha fornito i seguenti dati:

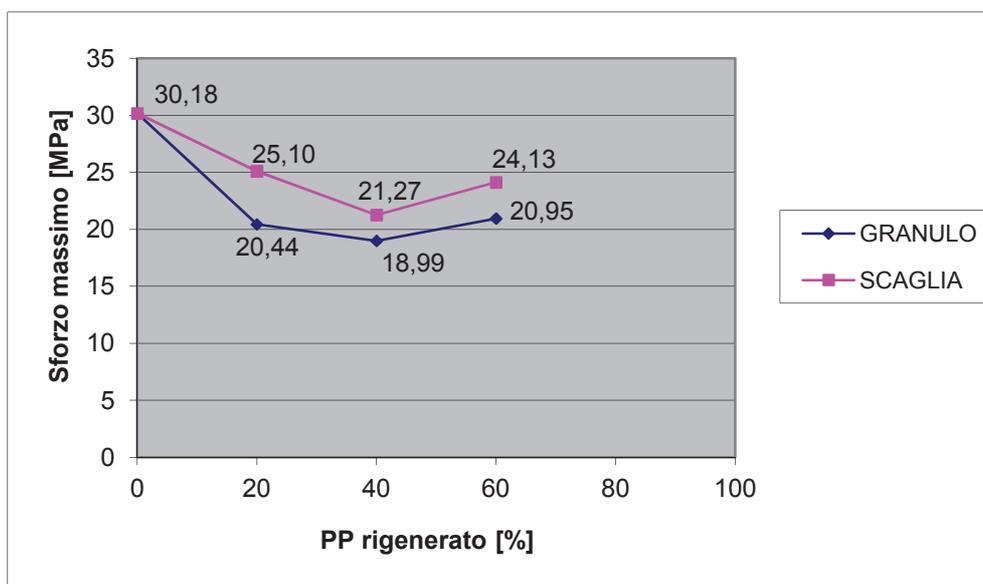


Figura 3.11: andamento dello sforzo massimo manifestato dalla prima miscela

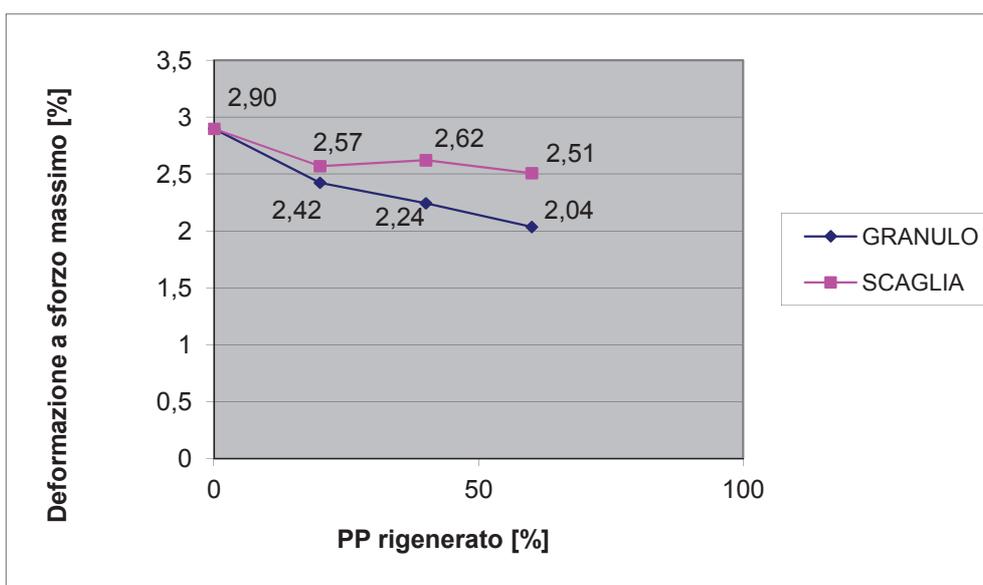


Figura 3.12: deformazione percentuale subita dei provini al manifestarsi del limite di snervamento

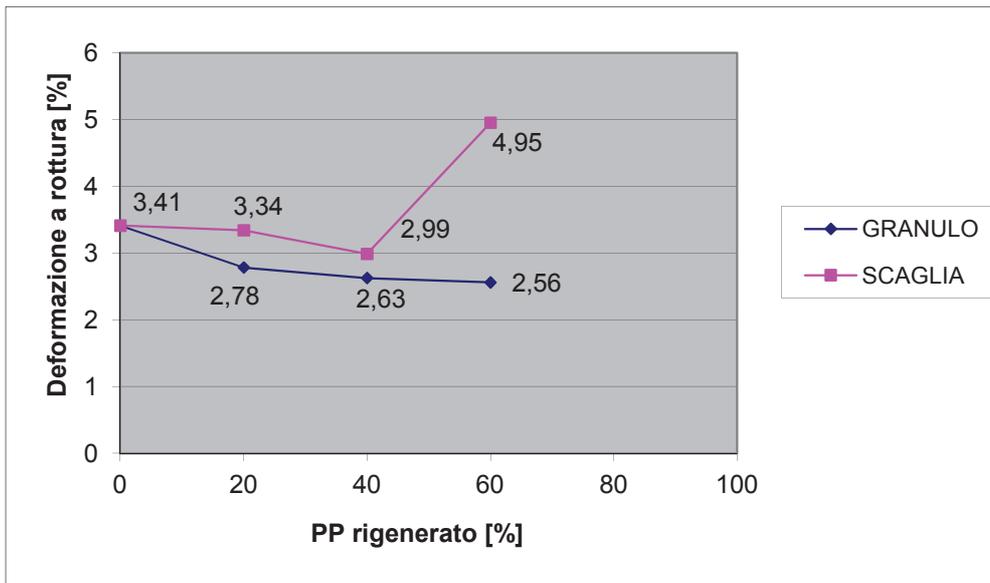


Figura 3.13: deformazione percentuale dei provini al momento della rottura

Per quanto riguarda la seconda miscela invece è stato riscontrato il seguente comportamento:

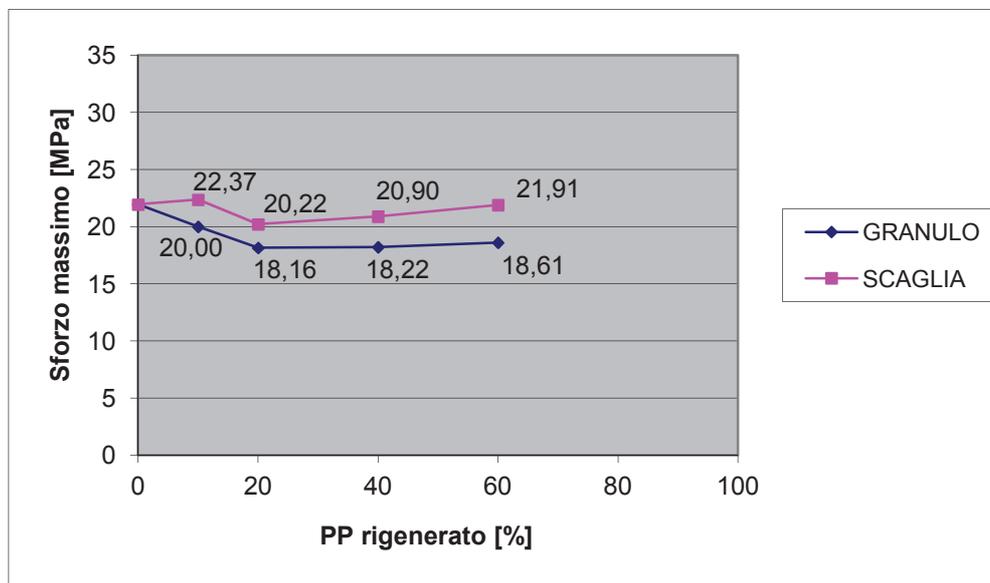


Figura 3.14: andamento dello sforzo massimo sostenuto dai provini della seconda miscela

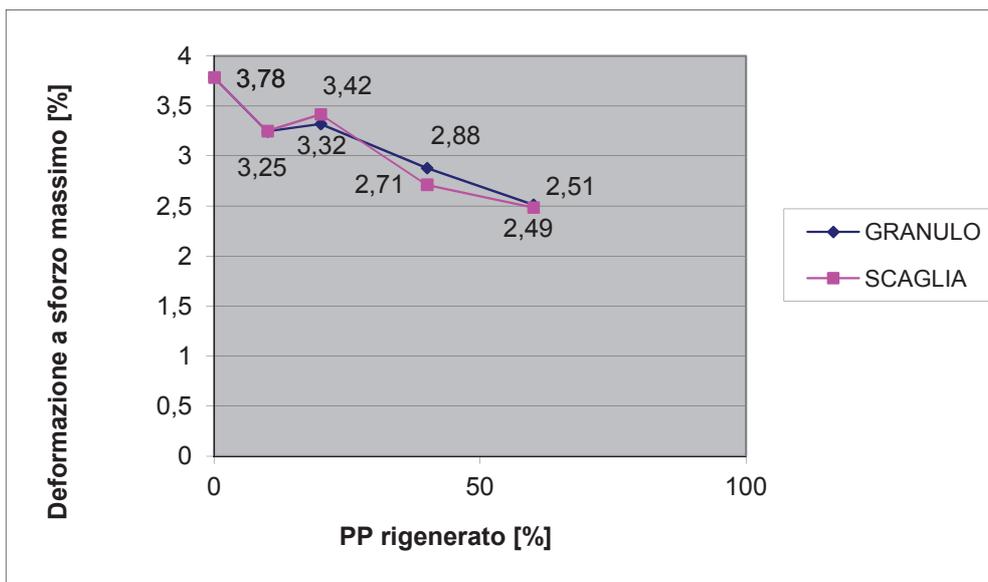


Figura 3.15: deformazione percentuale a sforzo massimo manifestata dalla seconda miscela

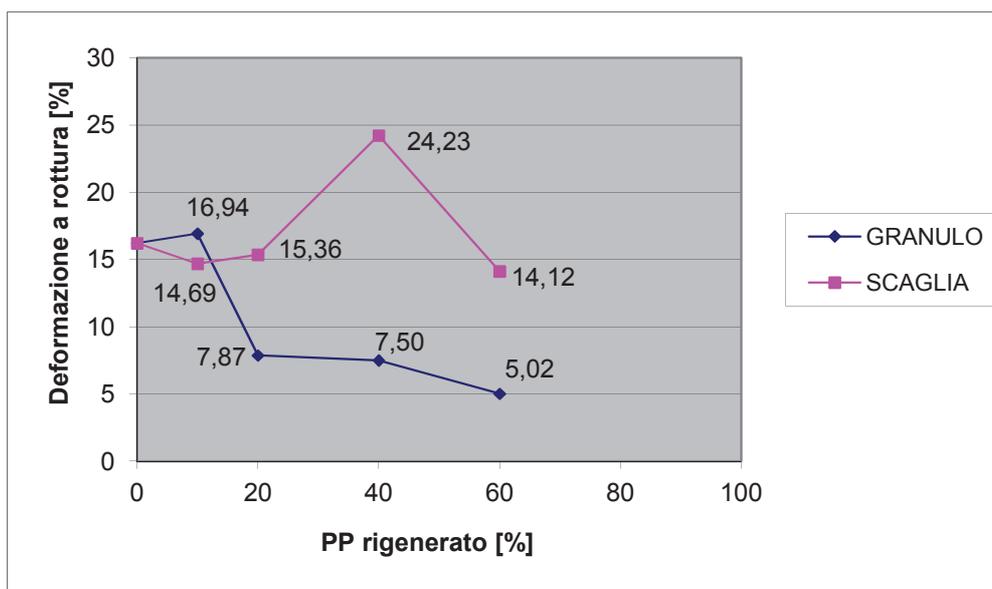


Figura 3.16: deformazione percentuale a rottura assunta dei provini della seconda miscela

Dall'andamento dei grafici si evince che l'introduzione del rigenerato non comporta un eccessivo stravolgimento delle caratteristiche meccaniche e di resistenza del prodotto, che rimangono abbastanza costanti anche con alte percentuali di aggiunta.

Si nota tuttavia che il granulo tende a rendere più fragile entrambe le miscele, diminuendo la deformazione a sforzo massimo e la deformazione a rottura; la scaglia contribuisce d'altra parte a mantenere la plasticità originaria delle miscele. I valori di sforzo massimo invece rimangono stabili

per quanto riguarda la seconda miscela, mentre calano leggermente per la prima.

E' comunque ben evidente la presenza di alcuni dati anomali, già precedentemente segnalati e imputabili alla lavorazione “artigianale” delle miscele da cui sono stati ricavati i provini: dati maggiormente affidabili saranno pertanto estrapolati dai test di caratterizzazione effettuati sui prodotti finiti e dal confronto dei risultati con i dati storici delle precedenti produzioni.

### 3.4 Caratterizzazione del prodotto finito.

Concluse le analisi sulle miscele sperimentali, è cominciata la produzione pilota di geocompositi drenanti con polipropilene riciclato, con l'obiettivo di verificare una futura produzione a pieno regime; l'azienda si è proposta di fare qualche tentativo introducendo il 10, il 15 e il 20% di granulo rigenerato, per riservarsi la possibilità di aumentare la percentuale in seguito all'esito dei test di laboratorio.

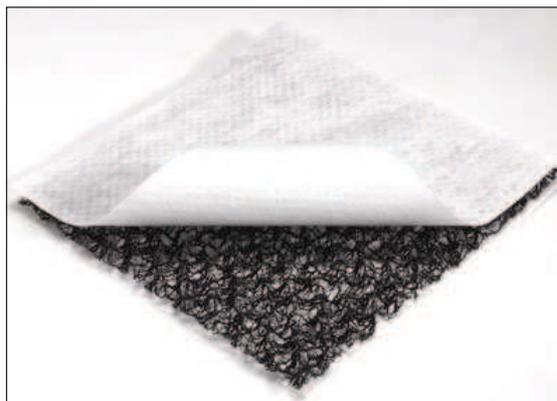


Figura 3.17: Q drain c20 10t

Il prodotto sul quale sono state effettuate le prime prove di caratterizzazione è il q drain c20 10t (figura 3.17), geocomposito drenante antiersivo dallo spessore di 20 mm, accoppiato a due geotessili non tessuti, anch'essi in polipropilene.

I controlli eseguiti sul prodotto finito riguardano il peso, lo spessore, la resistenza a trazione e a compressione, ed infine il test di water flow; le modalità seguite sono quelle descritte nel paragrafo dedicato ai test.

Lo scopo principale era quello di verificare la conformità del prodotto con le caratteristiche qualitative dichiarate nella scheda tecnica, riportata al termine di questo capitolo; sarebbe stato inoltre possibile eseguire una comparazione diretta con i dati riferiti ai prodotti standard raccolti negli anni precedenti.

Le misure di più facile interpretazione sono quelle riguardanti lo spessore [mm] e il peso [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] dei campioni esaminati, raccolte rispettivamente nelle tabelle 3.2 e 3.3.

### Spessori

1	2	3	4	5	6	7	8		media	deviazione
18,76	19,35	18,55	19,72	19,67	18,96	18,40	20,15		19,20	0,62

Tabella 3.2: misura degli spessori [mm] dei campioni esaminati

### Pesi

1	2	3	4	5	6	7	8		media	deviazione
848	830	843	831	841	799	816	846		831,8	16,9

Tabella 3.3: misura dei pesi [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] dei campioni esaminati

Come si può facilmente dedurre, i risultati rientrano all'interno delle specifiche riportate nella scheda tecnica.

Per quanto riguarda i test di trazione, (tabelle 3.4 e 3.5) era stato inizialmente ipotizzato come poco influente l'effetto dovuto all'utilizzo di granulo rigenerato: sebbene ci si aspetti una naturale tendenza all'indebolimento del prodotto, bisogna considerare che la maggior parte della resistenza a trazione viene conferita al prodotto dall'accoppiamento con i tessuti, che rimangono gli stessi del prodotto standard.

Il dato di resistenza a trazione è misurato in [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ], ed è la media dei due test eseguiti per ciascuna direzione di prova, MD e CMD (Machine Direction e Cross-Machine Direction)

MD1	MD2		media	ds
4,88	7,48		6,19	1,83

CMD1	CMD2		media	ds
6,28	6,29		6,29	0,01

Tabelle 3.4 e 3.5: resistenza a trazione [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ] manifestata dai prototipi per entrambe le direzioni di prova

I risultati ottenuti, hanno valore di  $6,188 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  per il verso MD e di  $6,29 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  per il verso CMD. La scheda tecnica riporta il valore di  $6 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  per entrambe le direzioni di prova, pertanto il prodotto mantiene le caratteristiche meccaniche dichiarate e conferma anche in questo caso le ipotesi formulate in precedenza.

Il test di drenaggio rappresenta dunque l'aspetto conclusivo del processo di caratterizzazione per questi manufatti, andando a verificare la prestazione principale per la quale sono stati concepiti.

Vengono qui di seguito riportati i grafici rappresentanti rispettivamente i risultati dei test water flow eseguiti sui prodotti sperimentali e i risultati dei test effettuati in azienda sulla produzione standard del prodotto q drain c20 10t:

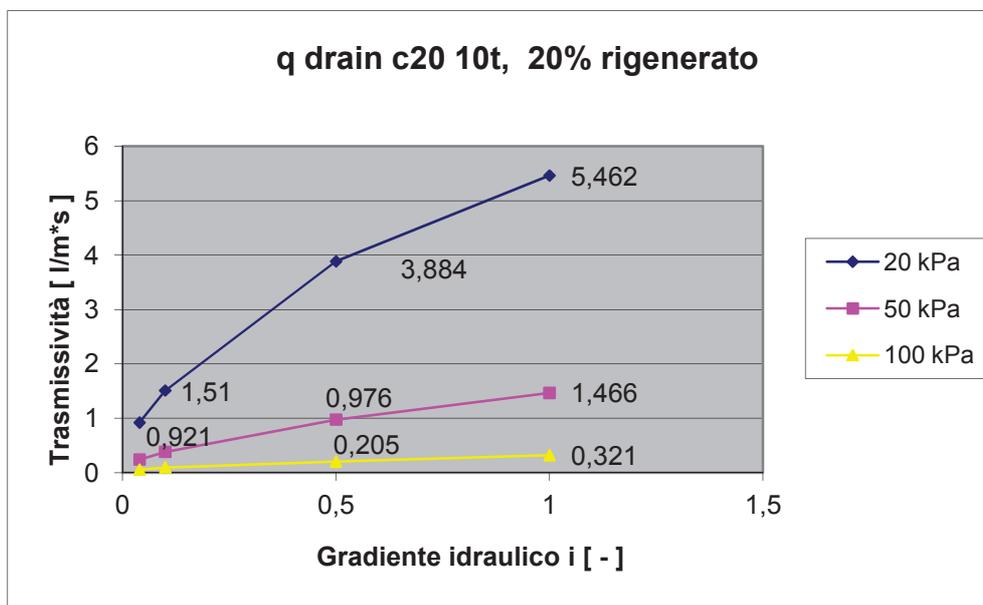


Figura 3.18: grafico riassuntivo dei test water flow eseguiti sui prototipi con granulo riciclato

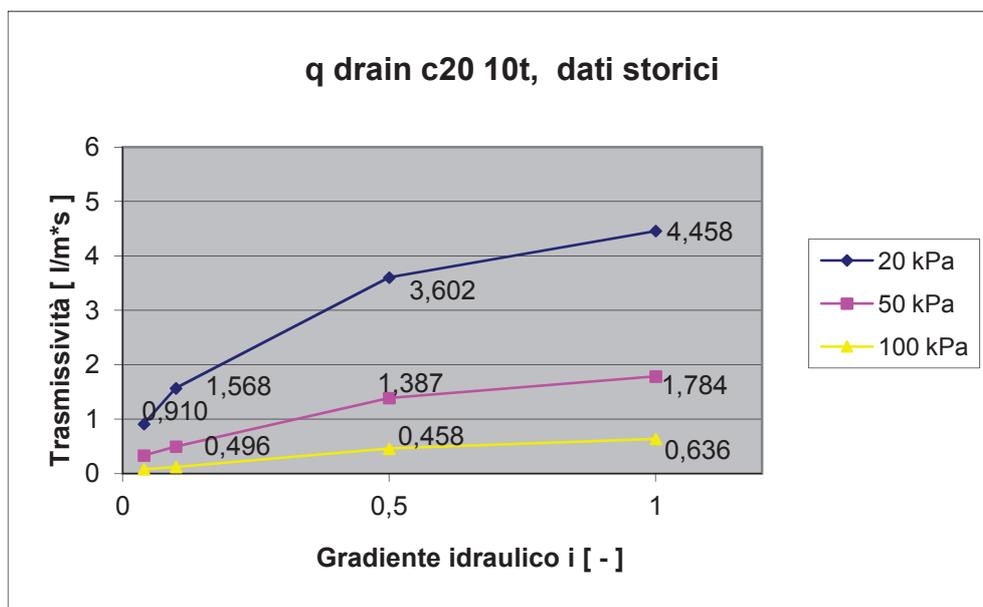


Figura 3.19: risultati medi di tutti i test eseguiti in precedenza sullo stesso prodotto

Confrontando i due grafici, si riscontra come le prestazioni del nuovo prodotto siano in accordo con le precedenti, risultando addirittura superiori per quanto riguarda il carico di 20 kPa, mentre leggermente sotto la media ai carichi maggiori, pur sempre rientrando all'interno delle caratteristiche riportate nella scheda tecnica, riportata nella pagina seguente.



# QDrain C 20 10T



Certificato numero: 1213-CPD 3910  
 Anno di ultima revisione: 12  
 Norma di riferimento: UNI EN 13252  
 Applicazione: Sistemi di drenaggio

**STRUTTURA:** geocomposito drenante costituito da un'anima interna ottenuta per estrusione di monofilamenti sintetici aggrovigliati alla quale vengono termocoppiati due geotessili filtranti.



## ELEMENTI FILTRANTI

Materia prima (+ st.UV)	Polipropilene			
Massa areica	EN ISO 9864	g/m <sup>2</sup>	100	±10
Spessore a 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	0,6	±0,2
Resistenza a trazione MD/CMD	EN ISO 10319	kN/m	6/6	-1
Allungamento a carico max MD/CMD	EN ISO 10319	%	55/60	±30
Resistenza a punzonamento statico CBR	EN ISO 12236	N	1000	-115
Resistenza a punzonamento dinamico	EN ISO 13433	mm	38	+6
Flusso perpendicolare al piano	EN ISO 11058	mm/s	100	-40
Porometria	EN ISO 12956	micron	95	±35

## GEOSTUOIA

Materia prima (+ st.UV)	Polipropilene			
Massa areica	EN ISO 9864	g/m <sup>2</sup>	650	
Larghezza		m	2 - 4	

## GEOCOMPOSITO

Massa areica	EN ISO 9864	g/m <sup>2</sup>	850	±85
Spessore a 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	20	±2
Resistenza a trazione MD/CMD	EN ISO 10319	kN/m	13/13	-2
Allungamento a carico max MD/CMD	EN ISO 10319	%	80/80	±25

### CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Capacità drenante nel piano MD (20kPa, M/M, i=1)	EN ISO 12958	l/(m·s)	4	-0,8
Capacità drenante nel piano MD	EN ISO 12958	l/(m·s)		-20%
<i>Gradiente idraulico</i>	<i>Contatto</i>	<i>i = 0,04</i>	<i>i = 0,10</i>	<i>i = 1</i>
<i>Carico 20 kPa</i>	M/R	0,85	1,50	4,00
" 50 kPa	M/R	0,30	0,45	1,65
" 100 kPa	M/R	0,06	0,10	0,40

M/M: Contatto Morbido/Morbido M/R: Contatto Morbido/Rigido

### ASPETTI DI DURABILITA'

Previsione di durabilità minima (suoli naturali con 4<pH<9 e T<25°C)	anni	25
Prodotto da coprire entro 2 settimane dall'installazione		

## DIMENSIONI STANDARD

Larghezza	m	2 - 4	±3%
Lunghezza	m	20	±2%
Sovrapposizione del filtro	cm	10	
Rotoli/pallet	n°	4	

Le informazioni qui riportate sono basate sull'attuale nostro livello di conoscenza e produzione. Nuove ricerche e sviluppi sul prodotto potranno rendere necessarie ulteriori versioni. Per questo motivo ci riserviamo il diritto di aggiornare le schede tecniche senza preavviso.

Le caratteristiche espresse si riferiscono alla produzione standard. Eventuali scostamenti o richieste di prodotti speciali, si intendono da concordare preventivamente.



**TeMa**  
Technologies  
and Materials



TeMa Technologies and Materials srl  
 Via dell'Industria, 21 31029 Vittorio V.to (TV) - Italy  
 Tel. +39.0438.50.31 - Fax +39.0438.50.34.60  
 e-mail: info@temacorporation.com  
 www.temacorporation.com



# Capitolo 4

## Conclusioni

Alla luce dei risultati esposti nel capitolo precedente, le prestazioni del geosintetico sperimentale sono state valutate soddisfacenti da parte dell'azienda, anche se lo studio a tal riguardo non può esaurirsi semplicemente negli aspetti trattati nel corso di questo tirocinio. Se il processo di caratterizzazione del prodotto ha fornito i risultati sperati, nell'ottica di una produzione industriale è necessario focalizzare l'attenzione sugli aspetti negativi connessi all'utilizzo di PP riciclato.

Il principale inconveniente è dovuto alle impurità che inevitabilmente caratterizzano il materiale utilizzato, ragion per cui gli ugelli della filiera tendono a sporcarsi e/o occludersi facilmente durante la fase di estrusione: per ovviare a tale problema è necessario procedere alla pulizia degli stessi e ad un frequente ricambio dei filtri posti all'imboccatura della filiera, operazioni che costringono alla fermata della linea di produzione; qualora queste soste dovessero essere affrontate con frequenza eccessiva, verrebbe meno la convenienza di utilizzare il granulo rigenerato. A titolo esemplificativo, si ritiene opportuno riportare l'analisi dsc di un campione di materiale a contatto con uno dei filtri presenti all'imboccatura della filiera (figura 4.1):

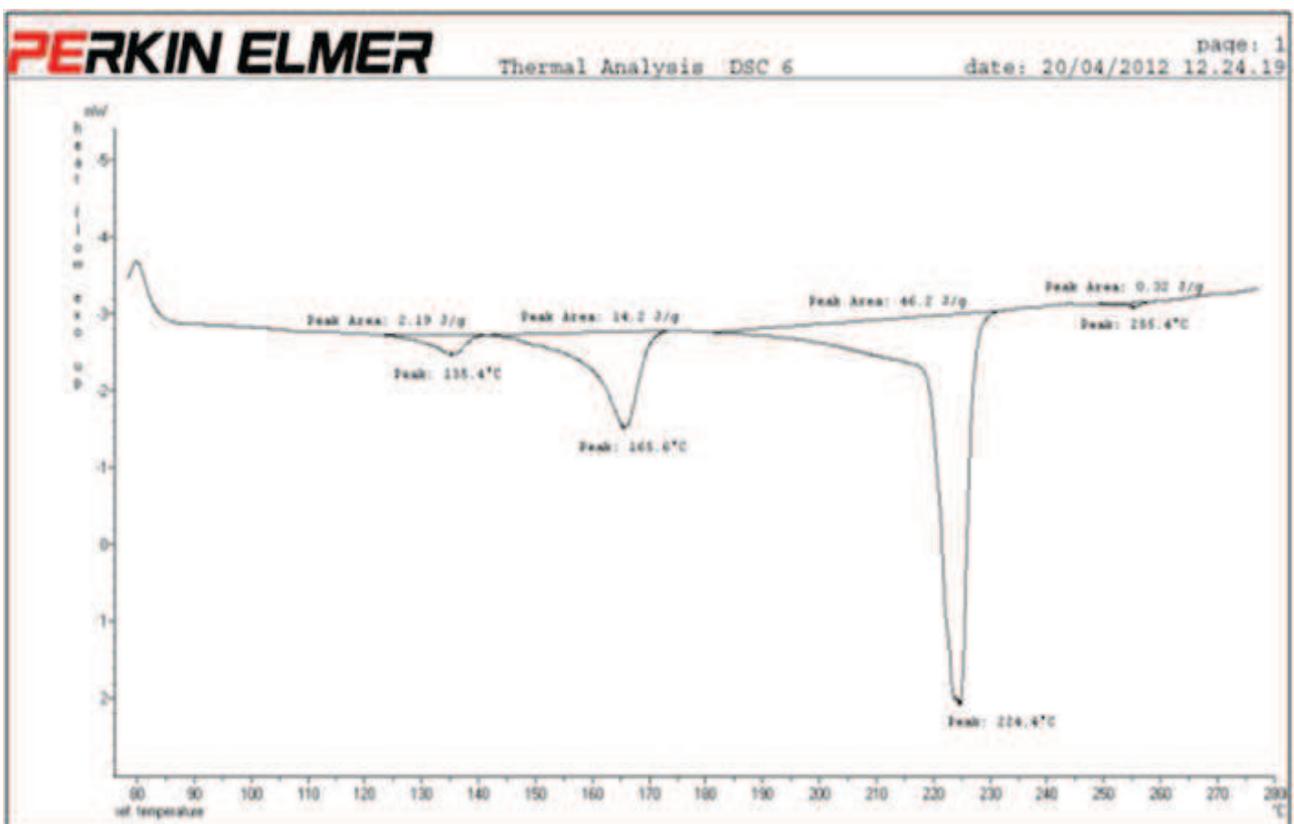


Figura 4.1: analisi dsc del materiale intrappolato dai filtri posti all'imboccatura dell'estrusore

Dal grafico si può facilmente ricavare quali sono le impurità altofondenti rispetto al PP, come ad esempio poliammide 6,6 (picco a 224 °C) e polietilentereftalato (picco a 255 °C), che si accumulano intasando i filtri, rendendone necessaria la sostituzione.

Si riscontra tuttavia che le due linee produttive manifestano comportamenti differenti: la linea principale necessita di fermate frequenti e di interventi di pulizia maggiormente accurati rispetto alla linea più piccola (e più moderna), che in virtù di alcuni accorgimenti tecnici, come un tempo di lavorazione minore e temperature leggermente inferiori, sembra tollerare meglio l'aggiunta del rigenerato, diminuendo lo stress termico a cui è sottoposta la miscela ed evitando la carbonizzazione di HDPE presente al suo interno.

D'altra parte, la linea più vecchia lavora con quantità di prodotto notevolmente superiori, per cui il maggior grado d'inquinamento appare come una logica conseguenza dei volumi di PP introdotti.

Da questo punto di vista, risulta necessario per l'azienda maturare nuova esperienza riguardante il settaggio dei parametri operativi dei vari macchinari, al fine di minimizzare gli inconvenienti di cui sopra, unitamente alla continua ricerca di fonti di approvvigionamento che possano fornire del granulo ancora più puro e di qualità costante nel tempo.

Si è visto dunque come l'introduzione di discrete quantità di materiale rigenerato non comporti conseguenze rilevanti per quanto riguarda le prestazioni del prodotto, che nei casi esaminati rimangono all'interno degli standard qualitativi che l'azienda si era prefissata.

Anche la qualità estetica del manufatto non risente dell'utilizzo del granulo riciclato: il prodotto potrebbe essere commercializzato senza alcuna rilevante modifica alla scheda tecnica, e rappresenterebbe un punto di forza per il marketing dell'azienda, che si potrebbe vantare di un prodotto più ecologico e dal minor impatto ambientale, risultando la prima del settore (che comprende colossi come Maccaferri, Italdreni, ...) ad imboccare una strada simile.

Anche con modeste quantità di granulo utilizzate, il risparmio relativo ai costi della materia prima è considerato influente e rappresenta ovviamente il fattore fondamentale per quanto concerne la valutazione della sostenibilità economica del progetto.

Nel mese di giugno 2012, l'azienda ha iniziato a produrre costantemente geosintetici e geocompositi utilizzando il granulo rigenerato, arrivando in alcuni casi anche all'introduzione del 40% di polipropilene riciclato.

# Appendice

In questa appendice desidero raccogliere i report dei test effettuati nel corso del tirocinio, in modo da mostrare concretamente la provenienza dei dati sperimentali.

Data l'impossibilità di riportarli tutti, ho deciso di dare spazio ad una selezione di quelli ritenuti esemplificativi, mostrando i risultati di un singolo report per ogni tipologia di test effettuato, sia sulle materie prime, che sui prodotti finiti.

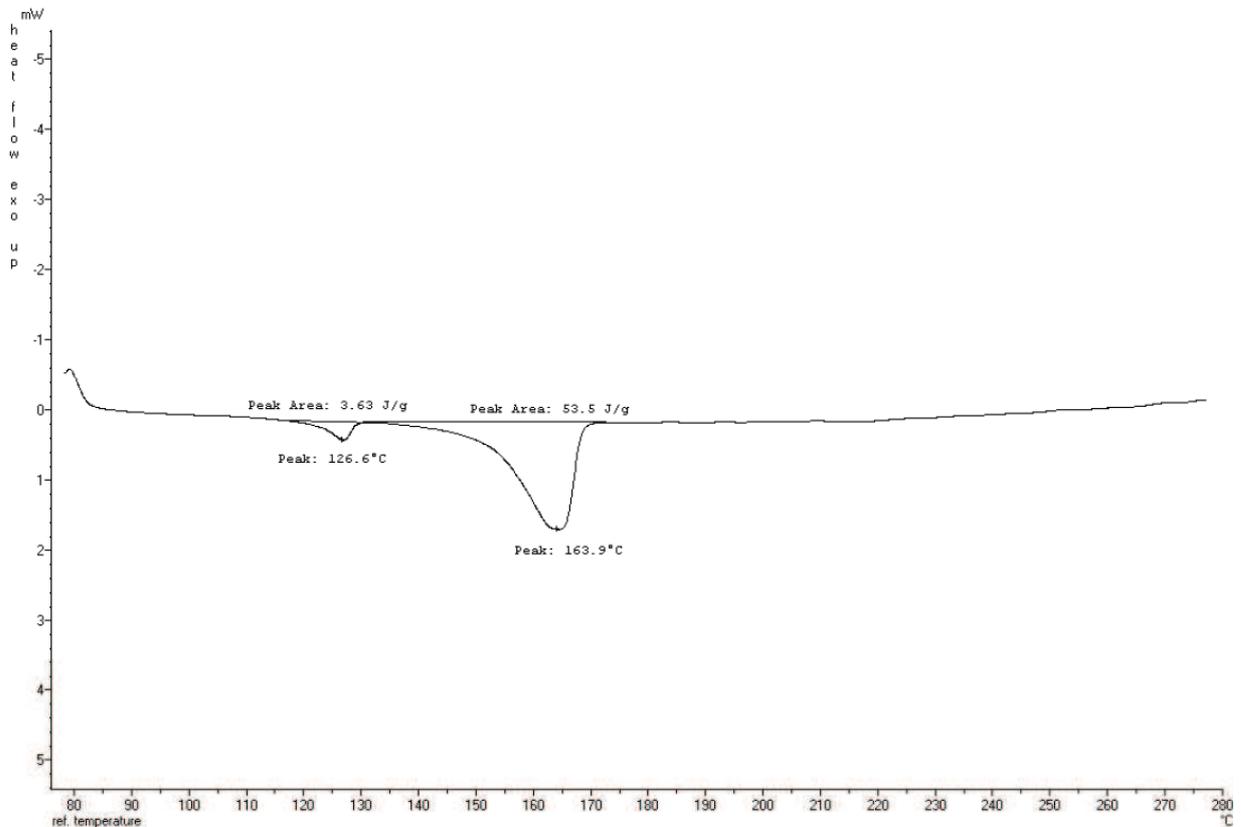
Sono dunque presenti, nell'ordine, i test dsc e mfi sul polipropilene rigenerato, sia sotto forma di granulo che di scaglia; seguono i test dcs, mfi e di trazione sulle miscele di prova (prendo qui in considerazione la miscela denominata 2\_6); infine sono presenti i test di trazione e di water flow realizzati su prototipi contenenti il 20 % di polipropilene rigenerato.

# Analisi dsc di granulo di polipropilene rigenerato:

**PERKIN ELMER**

Thermal Analysis DSC 6

page: 1  
date: 21/03/2012 11.51.07



File Name: PPRIGGRA.PED  
Run Date: 21/03/2012 11.18.42  
Sample ID: PP RIG GRANULO  
Sample Weight: 2 mg  
Sample Information:  
Coolant:  
Purge (Sample):  
Comments:  
Operator ID:  
Purge (Dry):  
Method Title: tema  
Method Information:  
Comments: Dynamic step for all polymers of TEMA  
Operator ID: Gigi  
Date Created: 02/05/2001  
This method contains 1 step.  
1: dyn. 80 - 280°C 10°C/min  
Instrument Information:  
Instrument Type: DSC6  
Calorimetric Sensitivity: 1014.1 units/mW  
Thermometric Sensitivity: 14000 units/°C

# Test mfi di granulo di polipropilene rigenerato:

CEAST TORINO M.F.I. - 1

NUM.EQUIPE : LAB  
CODICE TEST : PP\_RIGENERATO\_21.03  
NOME TEST : PP\_RIGENE

DENSITA : = 0.900 g/cc  
TEMPERATURA = 230 C°  
CARICO = 2.160 Kg  
DIAM.ORIF. = 2.095 mm  
LUNG.ORIF. = 8.000 mm  
RISCALDO = 3 min  
CORSIA PISTONE = 25.392 mm  
COMMENTO: RIGENERATO

MFR	1	=	28.734 gr/10 min
MFR	2	=	27.659 gr/10 min
MFR	3	=	29.483 gr/10 min
MFR	4	=	28.138 gr/10 min
MFR	5	=	27.659 gr/10 min
MFR	6	=	27.659 gr/10 min
MFR	7	=	29.787 gr/10 min
MFR	8	=	28.334 gr/10 min
MFR	9	=	27.106 gr/10 min
MFR	10	=	27.472 gr/10 min

MFR MEDIA = 28.201      DEV. STAND = 0.838

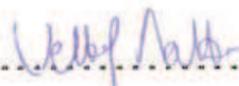
## DATI REOLOGICI

CARICO = 2.160 Kg  
VELOCITA = 0.733 mm/s  
SHEAR RATE = 57.782 1/s  
SHEAR STR. = 19385.279 Pa  
VISCOSITA = 335.146 Pa\*s

DATA 03-21-2012

ORA 15:36:21

OPERATORE.....

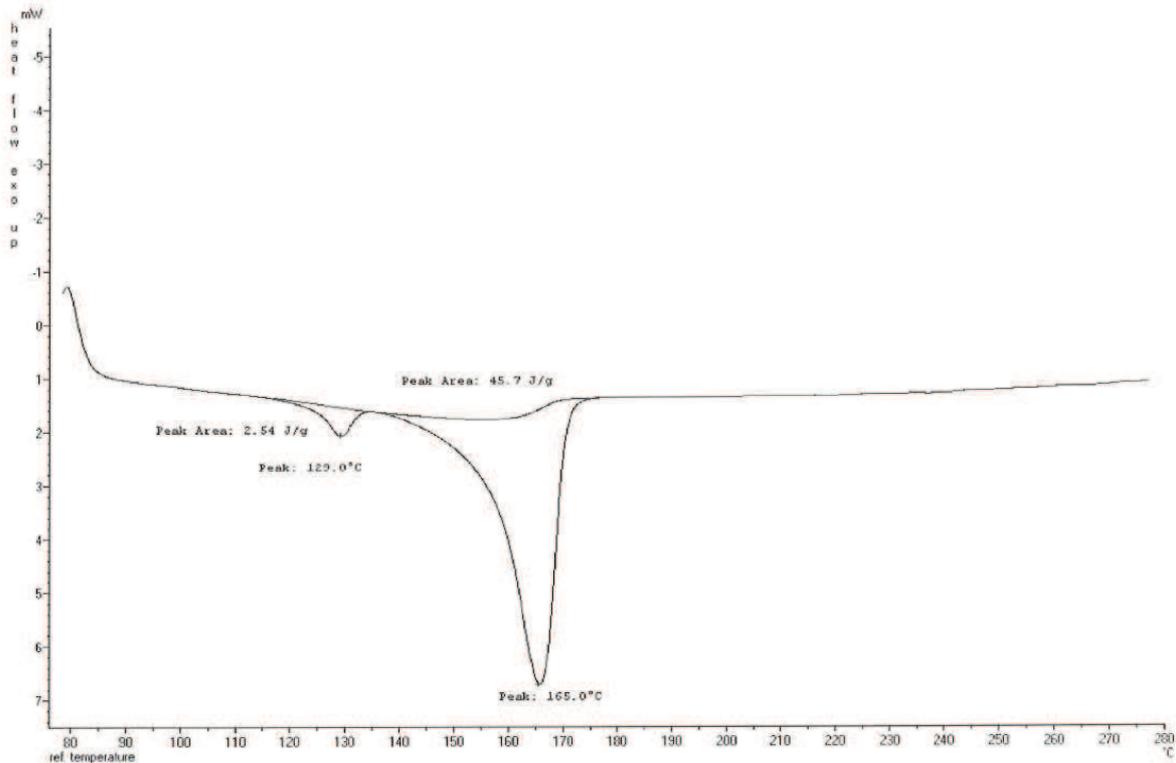


# Analisi dsc di scaglie di polipropilene rigenerato:

**PERKIN ELMER**

Thermal Analysis DSC 6

page: 1  
date: 18/04/2012 12.46.48



File Name: PPSCAGLI.PED  
Run Date: 16/03/2012 12.30.34  
Sample ID: PP SCAGLIA  
Sample Weight: 7 mg

Sample Information:

Coolant:  
Purge (Sample):  
Comments:  
Operator ID:  
Purge (Dry):

Method Title: tema

Method Information:

Comments: Dynamic step for all polymers of TEMA  
Operator ID: Gigi  
Date Created: 02/05/2001

This method contains 1 step.  
1: dyn. 80 - 280°C 10°C/min

Instrument Information:

Instrument Type: DSC6  
Calorimetric Sensitivity: 1014.1 units/mW  
Thermometric Sensitivity: 14000 units/°C

# Test mfi di scaglie di polipropilene rigenerato:

CEAST TORINO M.F.I. - 1

NUM.EQUIPE :LAB  
CODICE TEST :PP\_SCAGLIA\_BIANCA\_21.03  
NOME TEST :PPSCABIA

DENSITA : = 0.900 g/cc  
TEMPERATURA = 230 C°  
CARICO = 2.180 Kg  
DIAM.ORIF. = 2.095 mm  
LUNG.ORIF. = 8.000 mm  
RISCALDO = 3 min  
CORSIA PISTONE = 25.392 mm

COMMENTO:SCAGLIA BIANCA

MFR	1	=	13.375 gr/10 min
MFR	2	=	14.020 gr/10 min
MFR	3	=	15.087 gr/10 min
MFR	4	=	15.430 gr/10 min
MFR	5	=	16.264 gr/10 min
MFR	6	=	15.578 gr/10 min
MFR	7	=	15.548 gr/10 min
MFR	8	=	15.298 gr/10 min

MFR MEDIA = 15.200      DEV. STAND = 0.981

## DATI REOLOGICI

CARICO = 2.180 Kg  
VELOCITA = 0.394 mm/s  
SHEAR RATE = 31.038 1/s  
SHEAR STR. = 19365.279 Pa  
VISCOSITA = 623.839 Pa\*s

DATA 03-21-2012

ORA 12:28:08

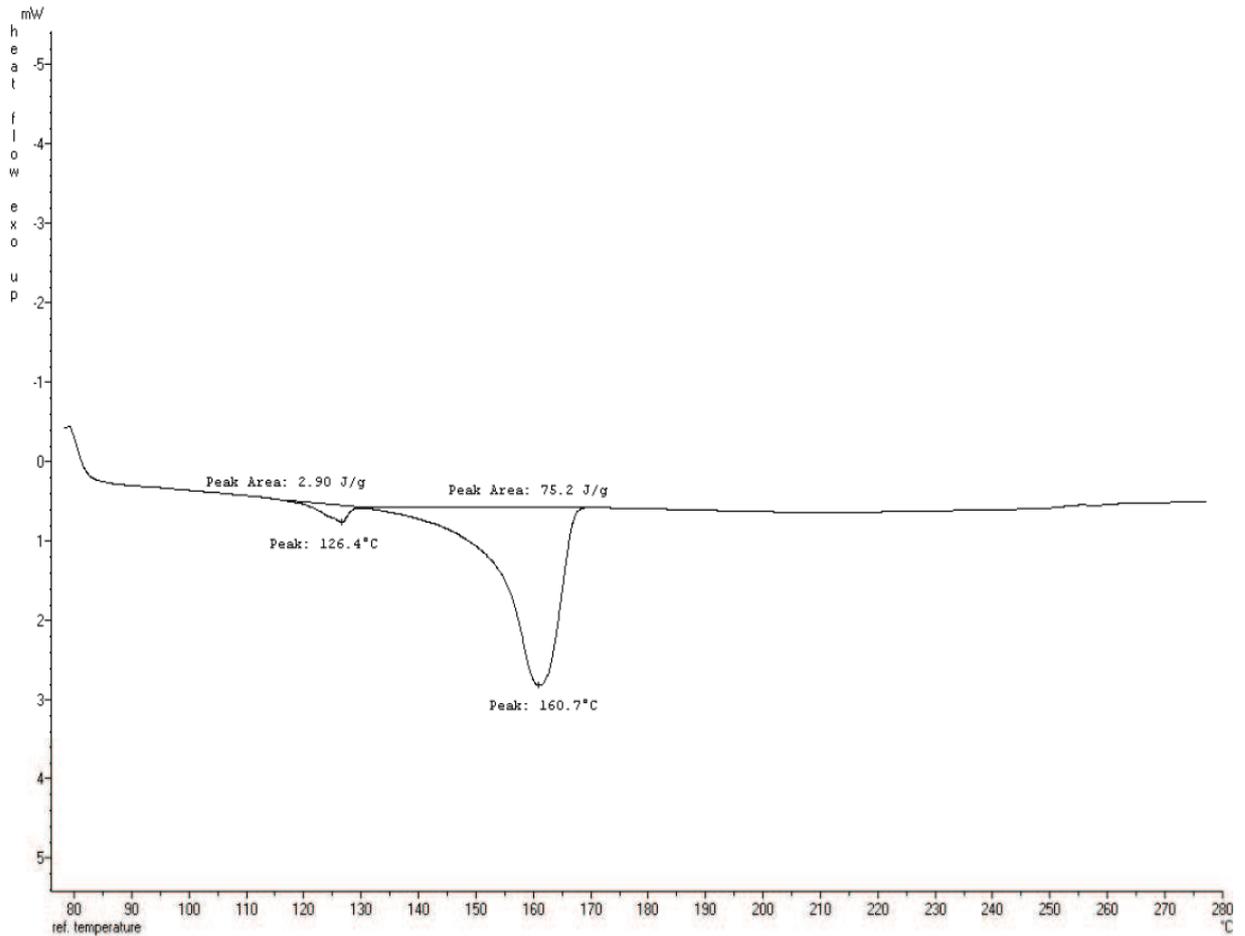
OPERATORE... *U. Maffei* ...

# Analisi dsc della miscela 2\_6, contenente il 60% di granulo rigenerato:

**PERKIN ELMER**

Thermal Analysis DSC 6

page: 1  
date: 05/04/2012 10.10.34



File Name: MIX2\_6\_1.PED  
Run Date: 05/04/2012 9.44.09  
Sample ID: MIX2\_6\_1  
Sample Weight: 2 mg  
Sample Information:  
Coolant:  
Purge (Sample):  
Comments:  
Operator ID:  
Purge (Dry):  
Method Title: tema  
Method Information:  
Comments: Dynamic step for all polymers of TEMA  
Operator ID: Gigi  
Date Created: 02/05/2001  
This method contains 1 step.  
1: dyn. 80 - 280°C 10°C/min  
Instrument Information:  
Instrument Type: DSC6  
Calorimetric Sensitivity: 1014.1 units/mW  
Thermometric Sensitivity: 14000 units/°C

## Test mfi sulla miscela 2\_6:

---

CEAST TORINO M.F.I. - 1

---

NUM. EQUIPE : LAB  
CODICE TEST : MIX2 6 2  
NOME TEST : MIX2 6 2

DENSITA : = 0.900 g/cc  
TEMPERATURA = 230 C°  
CARICO = 2.160 Ka  
DIAM. ORIF. = 2.095 mm  
LUNG. ORIF. = 8.000 mm  
RISCALDO = 3 min  
CORSIA PISTONE = 25.392 mm

COMMENTO:

MFR	1	=	30.919 ar/10 min
MFR	2	=	29.146 ar/10 min
MFR	3	=	29.042 ar/10 min
MFR	4	=	30.571 ar/10 min
MFR	5	=	28.533 ar/10 min
MFR	6	=	28.433 ar/10 min
MFR	7	=	32.269 ar/10 min
MFR	8	=	30.230 ar/10 min
MFR	9	=	28.939 ar/10 min
MFR	10	=	29.787 ar/10 min

MFR MEDIA = 29.787      DEV. STAND = 1.155

---

DATI                      REOLOGICI

---

CARICO = 2.160 Ka  
VELOCITA = 0.774 mm/s  
SHEAR RATE = 60.994 1/s  
SHEAR STR. = 19365.279 Pa  
VISCOSITA = 317.495 Pa\*s

---

DATA 04-05-2012

ORA 11:28:07

OPERATORE.....

## Test di trazione compiuto sui provini ricavati dalla miscela 2\_6:

**MIX 2\_6 60%  
GRANULO**

Te.Ma.

Vittorio veneto

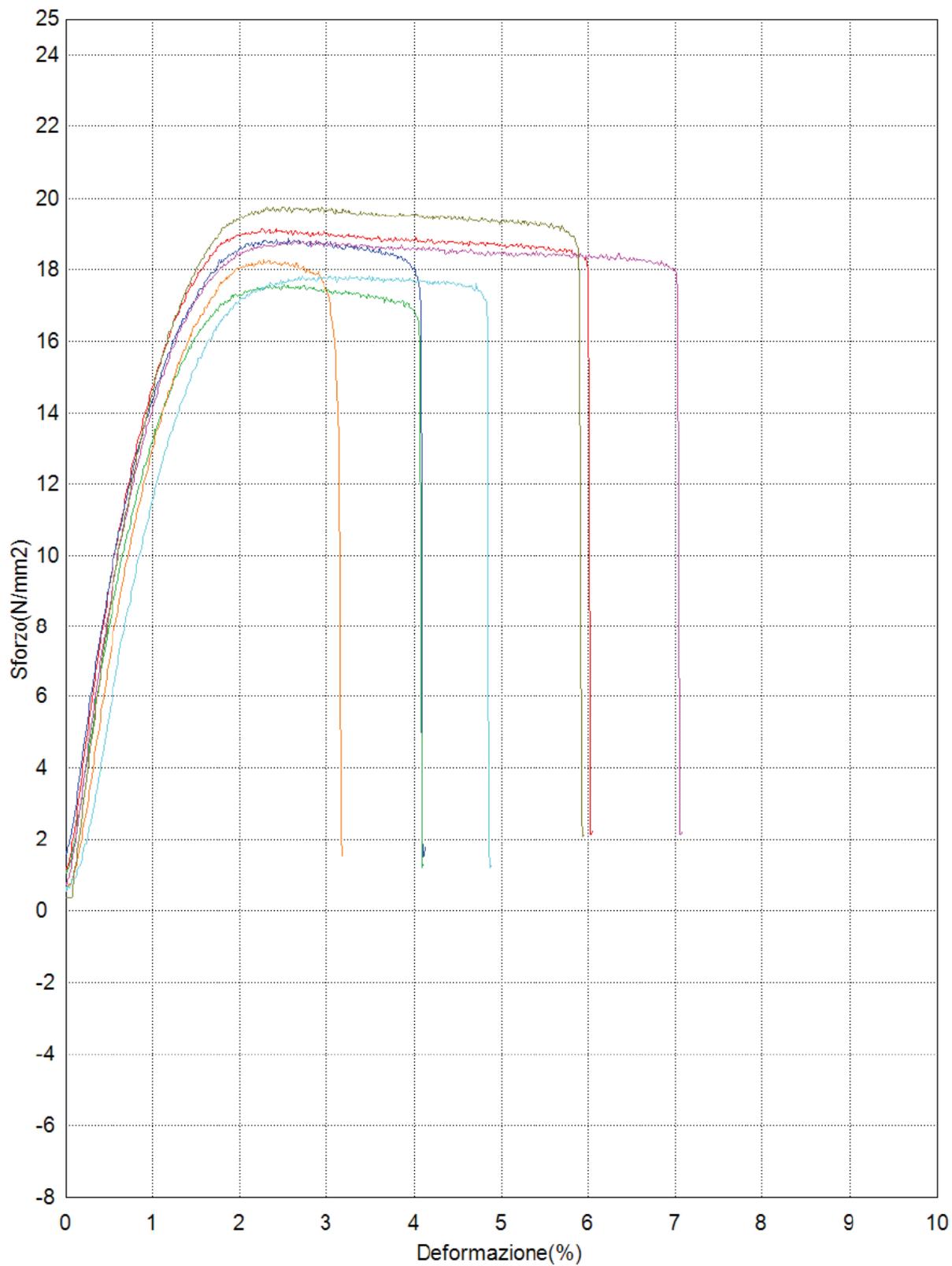


Nome prodotto	mix2_6	Temperatura	20 degrees
macchina di test	AG-X	Macchina numero	I33004801418
Modo di test	Singolo	Tipo di test	Trazione
Velocità	50mm/min	origine schermo	Start
Forma	Provino_piatto	Dimensioni lotto:	1
Dimensioni del sub-lotto:	10		

Nome	Max_Forza	Max_Spostamento	Max_Deformazione	Max_Sforzo	carico di snervamento	Interrompi_Forza
parametri	Calc. at Entire Areas		Livello(%/Max) 20			
Unità	N	mm	%	N/mm2	N/mm2	N
1_1	155,012	1,80640	2,25800	19,1373	19,1373	30,5176
1_2	134,643	2,04810	2,56013	18,8602	18,8602	16,2284
1_3	127,689	2,00644	2,50805	17,5880	17,5880	11,9527
1_4	148,018	2,11477	2,63067	18,8199	18,8198	21,5610
1_5	136,948	1,82306	2,27883	18,2597	18,2597	15,6085
1_6	155,489	1,84808	2,31010	19,7697	19,7697	20,7424
1_7	139,085	2,43138	3,03922	17,8315	17,8314	13,7965
Media	142,412	2,01118	2,51214	18,6095	18,6095	18,6296
Deviazione standard	10,6399	0,22084	0,27508	0,76407	0,76409	6,28774
Massimo	155,489	2,43138	3,03922	19,7697	19,7697	30,5176
Minimo	127,689	1,80640	2,25800	17,5880	17,5880	11,9527

Nome	Interrompi_Spostamento	Interrompi_Deformazione
parametri	Livello(%/Max) 20	Livello(%/Max) 20
Unità	mm	%
1_1	4,81475	6,01844
1_2	3,27313	4,09141
1_3	3,26473	4,08091
1_4	5,66475	7,04667
1_5	2,53144	3,16430
1_6	4,73977	5,92471
1_7	3,88975	4,86219
Media	4,02547	5,02695
Deviazione standard	1,09664	1,36230
Massimo	5,66475	7,04667
Minimo	2,53144	3,16430

Grafico sforzo-deformazione:



## Test di trazione sul prodotto qdrain c20 10t:

Direzione di trazione: MD (machine direction)



### Test Report

Tensile Strength in according to UNI EN ISO 10319

20% GRANULO  
RIGENERATO

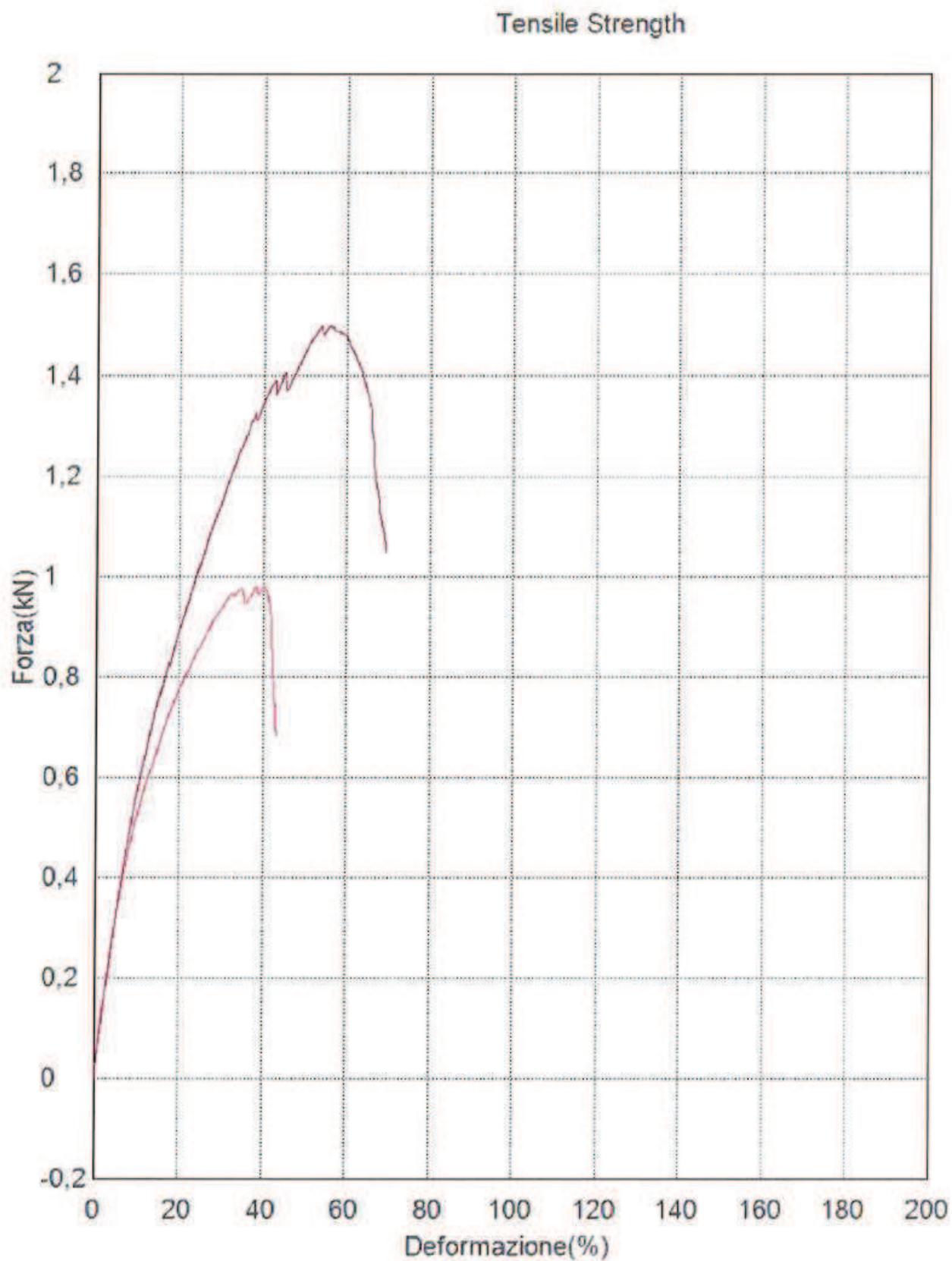
#### Data Processing Items

codice prod.	q drain c20 10t	Nome prodotto	HP Drain Plus
Nome del file di test	q drain c20 10t 20042012 md.xtak	Nome del file di metodo	Traz_EN10319_2.xmak
Operatore	LP	Verso Trazione	MD
Data Report	20/04/2012	Data del test	20/04/2012
Temperatura	23° C	Umidità:	25%
Macchina numero	I33004801418	Modo di test	Singolo
Tipo di test	Trazione	Velocità	20mm/min

#### Test results

Nome parametri	Tensile_Strength	Def at max load Calc. at Entire Areas	Tensile_Strength_3	tensile_Strength_5
Unità	KN/m	%	KN/m	KN/m
provino 1	4,88995	38,4573	1,00215	1,57585
provino 2	7,48795	56,0406	0,94805	1,57580
Media	6,18895	47,2490	0,97510	1,57583
Deviazione standard	1,83706	12,4333	0,03825	0,00004
Massimo	7,48795	56,0406	1,00215	1,57585
Minimo	4,88995	38,4573	0,94805	1,57580
Variazione	0,29683	0,26314	0,03923	0,00002

Grafico forza-deformazione:



# Test di trazione sul prodotto qdrain c20 10t:

Direzione di trazione: CMD (cross-machine direction)



## Test Report

Tensile Strength in according to UNI EN ISO 10319

20% GRANULO  
RIGENERATO

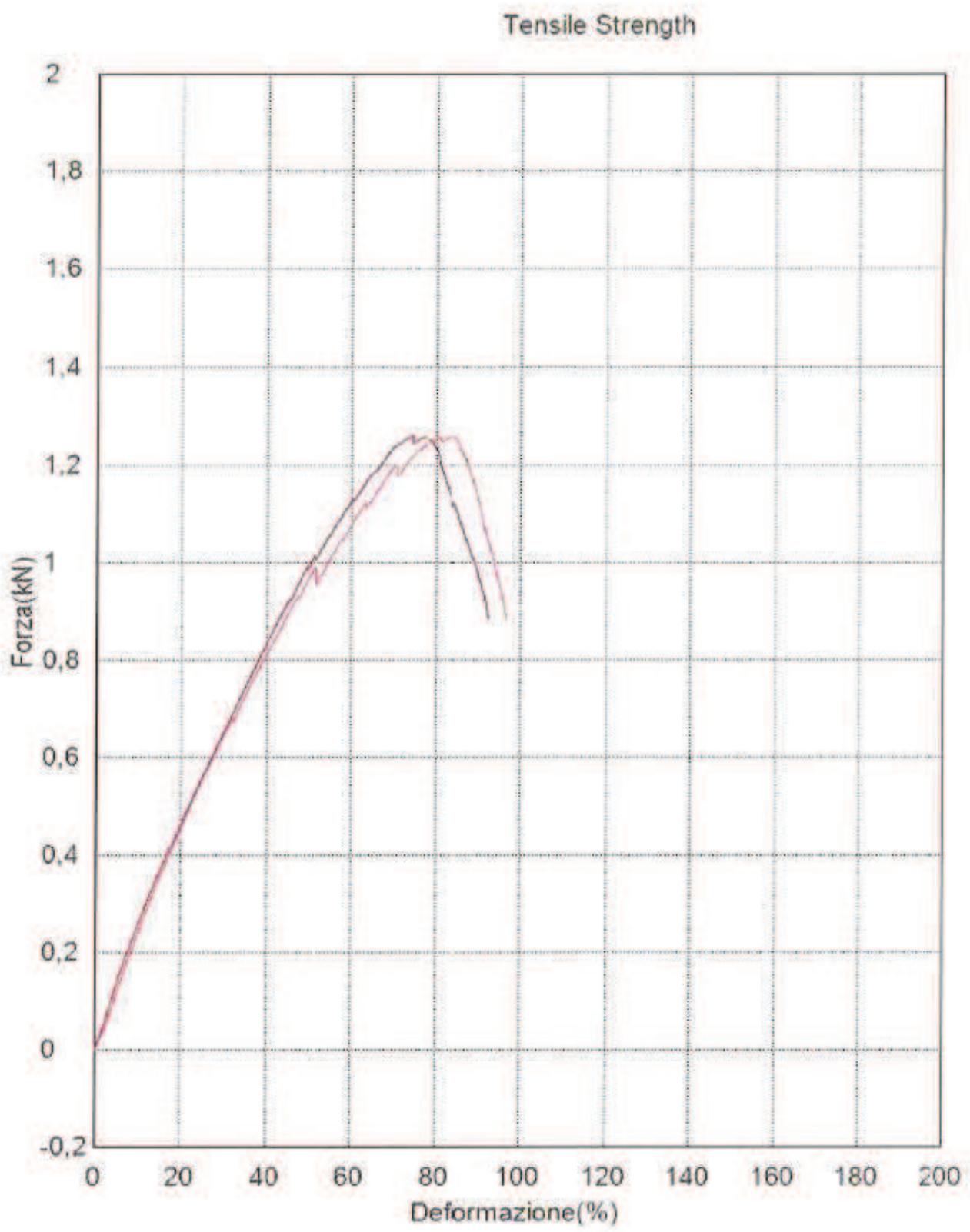
### Data Processing Items

codice prod.	q drain c20 10t	Nome prodotto	HP Drain Plus
Nome del file di test	q drain c20 10t 20042012 Cmd.xtak	Nome del file di metodo	Traz_EN10319_2.xmak
Operatore	LP	Verso Trazione	CMD
Data Report	20/04/2012	Data del test	20/04/2012
Temperatura	23° C	Umidità:	25%
Macchina numero	I33004801418	Modo di test	Singolo
Tipo di test	Trazione	Velocità	20mm/min

### Test results

Nome parametri	Tensile_Strength	Def at max load Calc. at Entire Areas	Tensile_Strength_3	tensile_Strength_5
Unità	KN/m	%	KN/m	KN/m
provino 1	6,28175	83,6406	0,29235	0,56000
provino 2	6,29275	74,3439	0,37405	0,66380
Media	6,28725	78,9923	0,33320	0,61190
Deviazione standard	0,00778	6,57376	0,05777	0,07340
Massimo	6,29275	83,6406	0,37405	0,66380
Minimo	6,28175	74,3439	0,29235	0,56000
Variazione	0,00124	0,08322	0,17338	0,11995

# Grafico forza-deformazione



# Test di trasmissività idraulica sul prodotto qdrain c20 10t, carico 20 kPa:

TE.MA. - TECHNOLOGIES AND MATERIALS						TMDRS011A		
<b>WATER FLOW TEST REPORT</b>						N°		
LABORATORIO: matteo vettorel						Date: 09/05/2012		
Product name: q drain c20 10t 20% rigenerato								
TEST DESCRIPTION								
Sample description				Test parameters				
Core material	pp			Upper contact surface	SOFT (2 LAYER OF PLASTIC)			
Core shape				Lower contact surface	rigid			
Upper geotextile				Water temperature				
Lower geotextile								
Working direction	md							
Sample thickness at 2								
Measured values								
$\Delta h_{\text{liquid}}$ (mm)	Load (kPa)	i	$\Delta h_{\text{sample}}$ (mm)	V <sub>water</sub> (l)	Measuring time (s)	width sample (m)	q (l/ms)	average q (l/ms)
12	20	0,04		3,71	20	0,2	0,927	
12	20	0,04		3,68	20	0,2	0,920	
12	20	0,04		3,66	20	0,2	0,915	0,921
30	20	0,1		4,54	15	0,2	1,512	
30	20	0,1		4,53	15	0,2	1,510	
30	20	0,1		4,53	15	0,2	1,508	1,510
150	20	0,5		7,46	10	0,2	3,731	
150	20	0,5		3,91	5	0,2	3,912	
150	20	0,5		4,01	5	0,2	4,010	3,884
300	20	1		5,54	5	0,2	5,542	
300	20	1		5,28	5	0,2	5,282	
300	20	1		5,56	5	0,2	5,563	5,462
note :								

# Test di trasmissività idraulica sul prodotto qdrain c20 10t, carico 50 kPa:

TE.MA. - TECHNOLOGIES AND MATERIALS					TMDRS011A			
<b>WATER FLOW TEST REPORT</b>					N°			
LABORATORIO: matteo vettorel					Date: 09/05/2012			
Product name: q drain c20 10t 20% rigenerato								
TEST DESCRIPTION								
Sample description				Test parameters				
Core material	pp			Upper contact surface	SOFT (2 LAYER OF PLASTIC)			
Core shape				Lower contact surface	rigid			
Upper geotextile				Water temperature				
Lower geotextile								
Working direction	md							
Sample thickness at 2								
Measured values								
$\Delta h_{liquid}$ (mm)	Load (kPa)	i	$\Delta h_{sample}$ (mm)	V <sub>water</sub> (l)	Measuring time (s)	width sample (m)	q (l/ms)	average q (l/ms)
12	50	0,04		4,43	90	0,2	0,246	
12	50	0,04		4,37	90	0,2	0,243	
12	50	0,04		4,26	90	0,2	0,237	0,242
30	50	0,1		4,66	60	0,2	0,388	
30	50	0,1		4,60	60	0,2	0,383	
30	50	0,1		4,54	60	0,2	0,378	0,383
150	50	0,5		2,98	15	0,2	0,994	
150	50	0,5		2,93	15	0,2	0,976	
150	50	0,5		2,88	15	0,2	0,959	0,976
300	50	1		2,94	10	0,2	1,472	
300	50	1		2,95	10	0,2	1,477	
300	50	1		2,90	10	0,2	1,450	1,466
note :								

# Test di trasmissività idraulica sul prodotto q drain c2010t, carico 100 kPa:

TE.MA. - TECHNOLOGIES AND MATERIALS				TMDRS011A				
<b>WATER FLOW TEST REPORT</b>				N°				
LABORATORIO: matteo vettorel				Date: 09/05/2012				
Product name: q drain c20 10t 20% rigenerato								
TEST DESCRIPTION								
Sample description				Test parameters				
Core material	pp			Upper contact surface	SOFT (2 LAYER OF PLASTIC)			
Core shape				Lower contact surface	rigid			
Upper geotextile				Water temperature				
Lower geotextile								
Working direction	md							
Sample thickness at 2								
Measured values								
$\Delta h_{\text{liquid}}$ (mm)	Load (kPa)	i	$\Delta h_{\text{sample}}$ (mm)	V <sub>water</sub> (l)	Measuring time (s)	width sample (m)	q (l/ms)	average q (l/ms)
12	100	0,04		2,66	240	0,2	0,055	
12	100	0,04		2,16	180	0,2	0,060	
12	100	0,04		1,45	120	0,2	0,060	0,059
30	100	0,1		2,36	120	0,2	0,098	
30	100	0,1		2,30	120	0,2	0,096	
30	100	0,1		2,29	120	0,2	0,095	0,096
150	100	0,5		3,75	90	0,2	0,209	
150	100	0,5		3,69	90	0,2	0,205	
150	100	0,5		3,66	90	0,2	0,203	0,205
300	100	1		2,90	45	0,2	0,322	
300	100	1		2,88	45	0,2	0,320	
300	100	1		2,87	45	0,2	0,319	0,321
note :								

# Nomenclatura

$\Delta H_{f,PP}$	=	Entalpia di fusione del polipropilene [ $J \cdot g^{-1}$ ]
$\Delta H_{f,PP}^*$	=	Entalpia teorica di fusione del polipropilene [ $J \cdot g^{-1}$ ]
$\Delta H_{f,HDPE}$	=	Entalpia di fusione del polietilene ad alta densità [ $J \cdot g^{-1}$ ]
$\Delta H_{f,HDPE}^*$	=	Entalpia teorica di fusione del polietilene ad alta densità [ $J \cdot g^{-1}$ ]
$i$	=	Coefficiente di trasmissibilità idraulica [-]
$\Delta h$	=	Perdita di carico [m]
$L$	=	Lunghezza [m]

## Acronimi

PE	=	Polietilene
PP	=	Polipropilene
HDPE	=	High density polyethylene, Polietilene ad alta densità
LDPE	=	Low density polyethylene, Polietilene a bassa densità
LLDPE	=	Linear low density polyethylene, Polietilene lineare a bassa densità
XPE	=	Cross linked polyethylene, Polietilene reticolato
UHMWPE	=	Ultra high molecular weight polyethylene, P. ad altissimo peso molecolare
ULDPE	=	Ultra low density polyethylene, Polietilene a bassissima densità
PET	=	Polietilentereftalato
PA	=	Poliammide
PS	=	Polistirene
DSC	=	Differential Scanning Calorimetry, Calorimetria a scansione differenziale
MFI	=	Melt Flow Index, Indice di melt flow



# Riferimenti Bibliografici

- Achilias, D.S., C. Roupakias, P. Megalokonomos, A.A. Lappas e E.V. Antonakou (2007). Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, **149**, 536-542.
- Baricco, M. (2005). Tecniche di Analisi Termica. In: Tecniche Sperimentali per la caratterizzazione dei materiali dal laboratorio alla produzione (R. Montanari, Ed.), AIM, Milano, pgg. 31-37.
- Basei, A. (2009). Analisi termomeccanica su polimeri a base di polipropilene. Tesi di Laurea in Ingegneria dei Materiali, Università di Trieste.
- Bertin, S. e J.J. Robin (2002). Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends. *European Polymer Journal*, **38**, 2255-2264.
- Bucciarelli, E. (2006). Caratterizzazione sperimentale di due nuovi geosintetici. Tesi di Laurea in Ingegneria Edile, Università di Padova.
- Kotek, J., I. Kelnar, J. Baldrian e M. Raab (2004). Structural transformations of isotactic polypropylene induced by heating and UV light. *European Polymer Journal*, **40**, 2731-2738.
- Luyt, A.S., M.D. Dramićanin, Z. Antić e V. Djoković (2009). Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler. *Polymer Testing*, **28**, 348-356.
- Martins, M.H. e M.A. De Paoli (2001). Polypropylene compounding with recycled material: Statistical response surface analysis. *Polymer Degradation and Stability*, **71**, 293-298.
- Meran, C., O. Ozturk e M. Yuksel (2008). Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene. *Materials & Design*, **29**, 701-705.
- Merrington, A. (2011). Recycling of Plastics. *Applied Plastics Engineering Handbook*, Elsevier Inc., 181-182.
- Pappa, G., C. Boukouvalas, C. Giannaris, N. Ntaras, V. Zografos, K. Magoulas, A. Lygeros e D. Tassios (2000). The selective dissolution/precipitation technique for polymer recycling: a pilot unit application. *Resources, Conservation and Recycling*, **34**, 33-44.
- Rust, N., E.E. Ferg e I. Masalova (2006) A degradation study of isotactic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings. *Polymer Testing*, **25**, 130-139.
- Savorgnan, G. (2004). Caratterizzazione materiale e processo di un innovativo tappeto drenante. Tesi di Laurea in Ingegneria dei Materiali, Università di Trieste.
- Shent, H., R.J. Pugh e E. Forssberg (1999). A review of plastics waste recycling and the flotation of

plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, **25**, 85-109.

Siddique, R., J. Khatib e I. Kaur (2008). Use of recycled plastic in concrete: A Review. *Waste Management*, **28**, 1835-1852.

Yang, X. e X. Ding (2006). Prediction of outdoor weathering performance of polypropylene filaments by accelerated weathering tests. *Geotextiles and Geomembranes*, **24**, 103-109.

## Sitografia

[www.borealisgroup.com](http://www.borealisgroup.com)

[www.ceast.com](http://www.ceast.com)

[www.ides.com/resinprice/resinpricingreport](http://www.ides.com/resinprice/resinpricingreport)

[www.instron.it](http://www.instron.it)

[www.lyondellbasell.com](http://www.lyondellbasell.com)

[www.perkinelmer.com](http://www.perkinelmer.com)

[www.plasticsnews.com/resin-pricing/all-resins](http://www.plasticsnews.com/resin-pricing/all-resins)

[www.polimerica.it](http://www.polimerica.it)

[www.shimadzu.it](http://www.shimadzu.it)

[www.temacorporation.com](http://www.temacorporation.com)

[www.terrerinforzate.it](http://www.terrerinforzate.it)

