

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102020000008935
Data Deposito	24/04/2020
Data Pubblicazione	24/10/2021

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	08	J	11	24

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	08	L	67	02

Titolo

PROCESSO PER DEPOLIMERIZZARE POLIETILENE TEREFTALATO (PET) TRAMITE GLICOLISI, E RELATIVO IMPIANTO PER LA SUA REALIZZAZIONE.

PROCESSO PER DEPOLIMERIZZARE POLIETILENE TEREFTALATO (PET) TRAMITE GLICOLISI, E RELATIVO IMPIANTO PER LA SUA REALIZZAZIONE.

5 La presente invenzione si riferisce a un processo per depolimerizzare polietilene tereftalato (PET), in particolare PET da rifiuti post-industriali e post-consumo, e al relativo impianto per la sua realizzazione.

 Il polietilene tereftalato (PET) è un poliestere
10 termoplastico semicristallino di largo impiego avente elevate resistenza e trasparenza, che ha diverse applicazioni grazie alle sue proprietà fisiche e chimiche, in particolare nell'imballaggio e nella produzione di fibre. La produzione globale di PET ha
15 raggiunto nel 2017 una capacità di oltre 70 milioni di tonnellate (Mton), di cui circa 15 Mton prodotte in Europa, destinate alla fabbricazione di fibre sintetiche (circa 67%), bottiglie (circa 23%) e imballaggi (10%).

 Il PET non comporta alcun rischio per la sicurezza,
20 ma l'aumento dei consumi e dell'accumulo nei flussi di rifiuti e la non biodegradabilità dello stesso generano preoccupazioni ambientali ed economiche. Pertanto, vi è un crescente interesse nelle tecnologie di riciclaggio del PET.

25 Il PET è considerato un materiale polimerico che può essere facilmente riciclato e il suo riciclaggio è il più diffuso tra i materiali polimerici. Le tecnologie possono essere raggruppate in due macro-categorie: riciclaggio meccanico e chimico.

30 Il riciclaggio meccanico consiste principalmente nell'ottenere scaglie di PET, tramite frantumazione e macinazione dei rifiuti preventivamente selezionati, le

quali vengono inviate direttamente all'estrusione per produrre nuovi articoli. I problemi principali di questa tecnologia sono dovuti all'eterogeneità dei rifiuti solidi e alla bassa qualità del prodotto finale, poiché
5 il PET peggiora le sue proprietà meccaniche ad ogni processo di riciclaggio.

Il riciclaggio chimico comporta la decomposizione del poliestere usando un reagente in grado di depolimerizzare le catene del PET per ottenere i monomeri
10 di partenza; la depolimerizzazione chimica del PET è ottenuta solitamente mediante idrolisi o metanolisi o glicolisi.

L'idrolisi depolimerizza il PET in acido tereftalico (TPA) ed etilenglicole (EG) (denominato
15 anche glicole monoetilenico - MEG) mediante reazione con acqua. La metanolisi degrada il PET in dimetil tereftalato (DMT) ed EG mediante reazione con metanolo. La glicolisi provoca la depolimerizzazione mediante reazione con EG, per produrre bis(2-idrossietil)
20 tereftalato (BHET), un prodotto intermedio che si forma nel primo stadio di produzione del PET dai monomeri di partenza (acido tereftalico ed EG).

Ad oggi il riciclaggio meccanico è ancora la tecnologia più utilizzata per il trattamento di rifiuti
25 contenenti PET, sebbene esso non consenta di ottenere un materiale di elevata qualità e adatto al contatto con alimenti. Si nota pertanto un crescente interesse per tecnologie di riciclaggio chimico in quanto sono conformi ai principi di sviluppo sostenibile,
30 restituendo materie prime per la produzione di PET vergine, che naturalmente è di qualità molto più elevata rispetto al PET riciclato meccanicamente.

Per quanto riguarda la reazione di depolimerizzazione del PET tramite glicolisi, questa viene solitamente realizzata in reattori discontinui (a batch) costituiti da serbatoi, dotati di un sistema di
5 miscelazione meccanica con movimento circolare a elica, ai quali il calore necessario alla reazione viene fornito per scambio termico attraverso le pareti del reattore stesso. Questo tipo di reattori è adatto al trattamento di fluidi o anche di sospensioni di solidi con
10 caratteristiche simili ai fluidi. Pertanto, il PET di scarto, per poter essere trattato, deve essere ridotto, dopo opportuna selezione e pulizia, in forma di scaglie di piccole dimensioni (attorno a 5-10 mm) e di granulometria omogenea tramite un processo di
15 macinazione, così da formare sospensioni con fluidità sufficientemente alta, tale da garantire una cinetica di reazione adeguata alla produzione industriale. Ciò comporta l'utilizzo di un elevato rapporto tra fase liquida (costituita principalmente dall'EG) e fase
20 solida (costituita dal PET di scarto), in genere non inferiore a 5 e solitamente tra 5 e 10. Nel caso di riciclaggio di tessuti o film tale rapporto può essere anche superiore.

Nella domanda di brevetto WO 2016/096768 si
25 descrive un processo per realizzare la glicolisi del PET che comprende:

- (a) uno stadio di dissoluzione in cui il PET viene miscelato con etilenglicole (EG) in un rapporto in peso EG:PET da 1 a 50, ad una temperatura tra 100°C e 300°C;
- 30 (b) uno stadio di separazione liquido-solido;
- (c) uno stadio di glicolisi della fase liquida ottenuta dallo stadio (b) in presenza di un catalizzatore

eterogeneo ad una temperatura da 100°C a 300°C e ad una pressione da 0,1 a 6 MPa, con un rapporto tra velocità di alimentazione al reattore e massa del catalizzatore (PPH) compreso tra 0,1 e 100 h⁻¹.

5 La Richiedente si è posta il problema tecnico di mettere a punto un processo, e il relativo impianto per la realizzazione dello stesso, per depolimerizzare il PET, in particolare un PET di scarto, tramite reazione di glicolisi con etilenglicole (EG) avente le seguenti
10 caratteristiche:

(i) possibilità di trattare PET di scarto tal quale e quindi in forma disomogenea, cioè senza la necessità di ridurlo in forma di scaglie di piccole dimensioni ed elevata omogeneità;

15 (ii) capacità di fornire calore con elevata efficienza a una massa considerevole di PET da depolimerizzare;

(iii) possibilità di ridurre il rapporto tra EG e PET necessario per realizzare la glicolisi, da cui deriva
20 la possibilità di realizzare la glicolisi a temperature relativamente elevate (a 230°C e oltre) e a pressione relativamente bassa (attorno alla pressione atmosferica o leggermente superiore), così da ottenere un aumento della velocità del processo di glicolisi;

25 (iv) possibilità di realizzare il processo sia in modo continuo sia in modo discontinuo, in funzione delle esigenze produttive.

Secondo un primo aspetto, la presente invenzione riguarda pertanto un processo per depolimerizzare un
30 polietilene tereftalato (PET) tramite glicolisi con etilenglicole (EG), che comprende:

(a) miscelare il PET allo stato solido con EG ad

una temperatura da 60°C a 120°C, preferibilmente da 80°C a 100°C, e pressare la miscela eterogenea così ottenuta in modo da espellere un'aliquota di EG così da ottenere la miscela eterogenea con un rapporto in peso EG:PET
5 (R1) compreso tra 0,1 e 3,0, preferibilmente tra 0,2 e 0,8;

(b) alimentare la suddetta miscela eterogenea in un reattore dove la miscela viene riscaldata e mantenuta sotto miscelazione ad una temperatura da 170°C a 270°C,
10 preferibilmente da 200°C a 250°C, con un rapporto in peso EG:PET (R2) compreso tra 0,1 e 4,0, preferibilmente tra 0,2 e 2,0, così da glicolizzare il PET con ottenimento di un prodotto glicolizzato contenente bis(2-idrossietil) tereftalato (BHET) e/o suoi
15 oligomeri.

Preferibilmente, nella fase (a) il PET viene miscelato allo stato solido con una quantità di EG tale da ottenere inizialmente un rapporto in peso EG:PET (R0) da 0,2 a 4,0, preferibilmente da 0,5 a 2,0. Tale rapporto
20 viene gradualmente ridotto durante la fase di pressatura fino a raggiungere il valore di R1 sopra indicato.

In una forma preferita di realizzazione, la fase (a) viene realizzata in una pressa a vite ("screw press" in inglese). Si tratta di un macchinario noto nella
25 tecnica, che viene comunemente utilizzato per separare un liquido da un solido che si trova in sospensione nel liquido stesso, ad esempio nel settore cartario per il trattamento di sospensioni a base di cellulosa, oppure nel settore del trattamento di rifiuti, ad esempio per
30 ridurre il volume dei fanghi prodotti da un impianto per il trattamento delle acque reflue.

Preferibilmente, una pressa a vite comprende un

contenitore, di forma sostanzialmente cilindrica, entro cui è posta una vite elicoidale rotante attorno al proprio asse che definisce un canale di trasporto avente una sezione decrescente lungo l'asse della vite stessa.

5 In tal modo, la massa di PET solido in miscela con l'EG viene spinta e compressa lungo la vite elicoidale, così da espellere un'aliquota dell'EG aggiunto. L'espulsione del liquido avviene in genere attraverso il contenitore che è dotato di una parete filtrante attraverso la quale

10 fuoriesce l'EG in eccesso.

Preferibilmente il contenitore è dotato di una parete filtrante costituita da fili tra loro affiancati aventi sezione a "V", comunemente chiamati "wedge wire screen". Si tratta in genere di strutture filtranti

15 costituite da aste, generalmente con sezione a "V", parallele tra loro e saldate a elementi di supporto, a sezione piatta o tonda, aventi forma circolare o a spirale, così fa formare una struttura cilindrica. Le aste sono tra loro distanziate in modo da realizzare una

20 struttura filtrante avente elevata resistenza meccanica, elevata area libera e bassa propensione all'intasamento. Ulteriori informazioni su questo tipo di elementi filtranti è reperibile sul sito della società Costacurta SpA (<http://www.costacurta.it/it/prodotti/elementi-filtranti/wedge-wire-screen/>).

25

La pressa a vite ha solitamente una configurazione orizzontale. Tuttavia è possibile utilizzare in alternativa una pressa a vite con configurazione verticale, nella quale il materiale viene alimentato

30 dall'alto e viene scaricato dal basso. Tale configurazione presenta alcuni vantaggi, tra cui un riempimento più uniforme dello spazio interno e quindi

una lavorazione più omogenea del materiale. Inoltre, il movimento del materiale all'interno della pressa viene favorito dalla forza di gravità con un conseguente aumento della produttività. Ulteriori dettagli su questa
5 realizzazione sono riportati ad esempio nella rivista Spectrum - Tech News No. 36 / 2-2017, p. 57-59 (disponibile sul sito <https://www.andritz.com/>).

Grazie alle caratteristiche della pressa a vite, il PET di scarto, ottenuto da rifiuti post-industriali e
10 post-consumo, può essere alimentato tal quale, oppure dopo essere stato sottoposto ad una fase di triturazione grossolana, senza necessità di ottenere il PET in forma di scaglie come convenzionalmente realizzato nei processi di recupero del PET di scarto.

15 Durante la fase (a), il PET viene sottoposto ad una temperatura da 60°C a 120°C, preferibilmente da 80°C a 100°C, cioè prossima o superiore alla temperatura di transizione vetrosa (T_g) del PET, e comunque inferiore alla sua temperatura di fusione (T_m). A queste
20 temperature il PET collassa, perdendo le sue caratteristiche di rigidità vetrosa, e si mescola più intimamente con l'EG, dando origine ad una miscela eterogenea formata dal PET (solido) e dall'EG (liquido), che viene poi trasferita alla fase (b). Preferibilmente,
25 per ragioni di sicurezza, la temperatura viene mantenuta al di sotto della temperatura di fiamma (flash point) dell'EG (che è pari a 115°C).

Secondo una forma di realizzazione preferita del processo secondo la presente invenzione, la fase (a)
30 viene suddivisa in due fasi (a1) e (a2) realizzate in due dispositivi differenti: la fase (a1) di miscelazione del PET allo stato solido con EG, ad una temperatura da

60°C a 120°C, preferibilmente da 80°C a 100°C, viene realizzata in un mescolatore, preferibilmente un mescolatore continuo, dotato di sistema di riscaldamento, a cui vengono alimentati il PET e l'EG.

5 Il mescolatore miscela e riscalda i due prodotti con formazione di una miscela eterogenea, grazie all'azione della temperatura che fa collassare il materiale polimerico e ne consente un'efficace miscelazione con la fase liquida (EG).

10 Come miscelatore può essere utilizzata una apparecchiatura nota nella tecnica, ad esempio una coclea oppure un miscelatore a nastro ("ribbon blender" in inglese).

Come è noto, un miscelatore a nastro comprende una
15 vasca in cui è collocato un albero rotante su cui è fissata una pluralità di bracci che supportano uno o più nastri in acciaio disposti elicoidalmente attorno all'albero. Una realizzazione particolarmente efficiente di tale macchinario prevede due nastri che formano due
20 eliche concentriche, di cui quella più esterna muove il materiale in lavorazione in una direzione e quella più interna nella direzione opposta, realizzando così una miscelazione particolarmente efficiente anche di materiali disomogenei.

25 La miscela eterogenea viene convogliata dal mescolatore all'ingresso della pressa a vite, dove si realizza la fase (a2), cioè la fase di compressione della miscela eterogenea che consente di espellere un'aliquota di EG dalla miscela stessa, così da ridurre il contenuto
30 di EG ed ottenere nella miscela eterogenea un rapporto in peso EG:PET (R1) come sopra indicato.

La realizzazione della fase (a) in due dispositivi

diversi come sopra riportato consente di utilizzare per la fase (a2) di pressatura una pressa a vite di tipo commerciale, che è solitamente priva di sistema di riscaldamento.

5 Preferibilmente, la miscela eterogenea viene trasferita dalla fase (a) alla fase (b) tramite passaggio in una cella di trasferimento che raccoglie una quantità predeterminata della miscela eterogenea in uscita dalla fase (a) la quale viene trasferita alla fase (b) per
10 caduta.

Preferibilmente, la fase (b) viene realizzata in atmosfera inerte, ad esempio in atmosfera di azoto, allo scopo di evitare la degradazione ossidativa del polimero causata dall'ossigeno atmosferico a temperature elevate.
15 In tal caso, la cella di trasferimento è una cella a tenuta idraulica, così da mantenere un'atmosfera inerte all'interno del dispositivo in cui si realizza la fase (b).

E' altresì possibile realizzare anche la fase (a)
20 in atmosfera inerte analogamente alla fase (b), tuttavia ciò non è strettamente necessario in quanto si ritiene che le temperature utilizzate per la fase (a) sono tali da non causare significativi degradazioni del PET in lavorazione.

25 Preferibilmente, alla fase (b) viene alimentato EG addizionale in modo da mantenere il rapporto in peso EG:PET (R2) entro l'intervallo indicato. E' altresì possibile alimentare alla fase (b) BHET e/o suoi oligomeri, i quali possono essere recuperati durante le
30 successive fasi del processo. L'aggiunta di BHET e/o suoi oligomeri consente di accelerare ulteriormente la reazione di glicolisi, grazie alle loro elevata

reattività nei confronti del PET.

E' importante sottolineare che la tenuta idraulica è anche garantita dal fatto che, all'uscita dalla pressa a vite, si ottiene una sorta di "tappo" costituito dalla
5 miscela eterogenea tra PET ed EG che è stata pressata all'interno della pressa stessa, il quale, raggiunta una certa massa critica, cade nella cella di trasferimento e passa quindi alla fase (b).

L'atmosfera inerte può essere realizzata tramite
10 sostituzione dell'aria con azoto, ad una pressione generalmente compresa tra 0,1 e 1,5 atm, preferibilmente tra 0,3 atm e 0,7 atm.

In una forma preferita di realizzazione, la fase (b) viene realizzata in un reattore a pale. Si tratta di
15 un macchinario noto nella tecnica, solitamente chiamato "essiccatore a pale" ("paddle dryer" in inglese), che viene comunemente utilizzato per riscaldare ed essiccare materiali di varia natura, tra cui materiali polimerici, minerali e polveri metalliche, in particolare nel
20 settore alimentare, chimico e farmaceutico, ed anche per essiccare i fanghi prodotti da un impianto per il trattamento delle acque reflue.

Preferibilmente, il reattore a pale comprende una vasca entro cui è disposta una coppia di alberi rotanti
25 attorno al proprio asse, su cui è montata una pluralità di pale, i quali riscaldano e mescolano la massa del PET solido in miscela con l'EG così da depolimerizzare il polimero tramite glicolisi e produrre bis(2-idrossietil) tereftalato (BHET) e/o suoi oligomeri.

30 Le due serie di pale, aventi il bordo esterno circolare, sono in genere tra loro interpenetranti, così da aumentare l'azione di miscelazione.

Le pale hanno in genere una forma a cuneo, cioè una sezione trasversale triangolare, così da garantire l'autopulitura delle pale stesse, consentendo il trattamento di materiali disomogenei con scarsa fluidità, come appunto il PET di scarto tal quale, cioè non ridotto in scaglie. Il fondo della vasca in cui è disposta la coppia di alberi rotanti ha preferibilmente una sezione trasversale con forma ad omega, in modo da mantenere una distanza sostanzialmente costante tra il brodo delle pale rotanti e il fondo, evitando ristagni del materiale in lavorazione e miscelazione omogenea di tutta la massa trattata.

Il reattore a pale è preferibilmente dotato di un sistema che consente di mantenere al suo interno un'atmosfera inerte, ad esempio tramite sostituzione dell'aria con azoto come sopra illustrato.

Il riscaldamento della massa all'interno del reattore può essere realizzato tramite gli alberi e le pale, che sono entrambi cavi e quindi agiscono da scambiatori di calore tramite l'immissione al loro interno di un fluido riscaldante, che quindi apporta calore direttamente all'interno della massa da trattare e consente un riscaldamento più rapido e uniforme rispetto ad un riscaldamento dall'esterno, tipico dei reattori convenzionali. Se necessario, il riscaldamento del materiale in lavorazione nel reattore a pale può essere ulteriormente fornito da una camicia riscaldante esterna.

Numerosi sono i vantaggi derivanti dall'attuazione del processo secondo la presente invenzione.

Innanzitutto, la fase (a) consente di impregnare intimamente il PET allo stato solido con l'EG, senza la

necessità di utilizzare il PET in forma di scaglie. Occorre infatti tenere presente che, in funzione della sua origine, il PET di scarto può contenere vari materiali estranei che vengono in genere eliminati prima di attuare la reazione di glicolisi (ad esempio cerniere, bottoni, lana di vetro, tessuti, alluminio, altri polimeri diversi dal PET, materiali multistrato in cui il PET è accoppiato con altri strati polimerici e/o metallici, etc.). L'intima miscelazione tra PET ed EG permette di migliorare la resa e di diminuire i tempi di reazione della fase (b) successiva. Infatti, viene ridotta la quantità di EG libero, cioè non intimamente miscelato con il PET, e ciò consente di aumentare la temperatura di glicolisi mantenendo la pressione attorno alla pressione atmosferica, con evidenti vantaggi in termini di velocità di reazione.

Inoltre, la fase (a) consente di ridurre il contenuto di acqua presente inizialmente nel PET (che può essere attorno al 5-7% in peso nel PET di scarto da rifiuti post-industriali o post-consumo) sotto un valore limite che è in genere fissato allo 0,5% in peso, rispetto al peso del PET. L'acqua presente infatti si miscela con l'EG aggiunto e viene in gran parte rimossa durante la pressatura.

La presenza di una quantità eccessiva di acqua nelle successive fasi può causare vari inconvenienti. Infatti, il calore latente per il passaggio di stato da liquido a vapore dell'acqua è elevato, per cui una quantità eccessiva di acqua (in genere superiore a 0,5% in peso) porta ad un elevato consumo energetico sottraendo il calore necessario per realizzare la reazione di glicolisi. Inoltre, la presenza di acqua in quantità

significative può favorire reazioni secondarie.

Per la realizzazione della fase (a) del processo, ed in particolare della fase (a2), l'utilizzo di una pressa a vite risulta particolarmente vantaggioso, in quanto si tratta di un macchinario particolarmente robusto adatto alla lavorazione di solidi, che accetta materiali eterogenei senza presentare problemi di occlusione del flusso in avanzamento. Ciò costituisce un notevole vantaggio rispetto ad un estrusore che è il macchinario più comunemente utilizzato per la miscelazione dei materiali polimerici termoplastici con additivi liquidi o solidi. Infatti, un estrusore ha una bassa tolleranza rispetto alla presenza nel materiale trattato di prodotti estranei duri e grossolani, che causerebbero interruzioni frequenti nella lavorazione per non danneggiare le viti dell'estrusore.

Per quanto riguarda la fase (b), questa risulta particolarmente efficace ed efficiente, con rese della glicolisi del PET molto elevate e tempi di reazione relativamente bassi. In genere, la resa complessiva in BHET e suoi oligomeri del processo in accordo con la presente invenzione è superiore al 98%, preferibilmente attorno al 100%.

Per quanto riguarda i tempi di reazione, questi possono variare in funzione di vari fattori, tra cui il volume della massa di reazione, la superficie di scambio tra il PET e l'EG, la temperatura di reazione e le caratteristiche del reattore a pale. In genere la fase (b) può essere condotta per un tempo da 1 a 60 minuti, preferibilmente da 2 a 40 minuti.

L'utilizzo di un reattore a pale per la fase (b) consente, d'altra parte, di aumentare la velocità di

riscaldamento della massa di PET in lavorazione, grazie ad un'elevata capacità di scambio termico, che avviene grazie al riscaldamento degli alberi e delle pale che fungono da scambiatori di calore, per cui il calore viene
5 ceduto all'interno della massa in lavorazione, e non semplicemente per contatto con la parete esterna del reattore.

Grazie al disegno e alla configurazione delle pale, aventi sezione trasversale a cuneo, il reattore a pale
10 garantisce inoltre un'elevata capacità di miscelazione della massa fluida sia in senso longitudinale sia in senso radiale. Il reattore a pale consente inoltre un avanzamento a pistone (plug flow) del materiale, che garantisce un efficace controllo della velocità di
15 avanzamento del materiale.

L'avanzamento del materiale all'interno del reattore è dovuto principalmente al peso del materiale scaricato dalla pressa a vite, il cui effetto di spinta può essere controllato tramite la regolazione
20 dell'inclinazione del reattore rispetto alla posizione orizzontale.

Al termine della fase (b), può essere eventualmente attuata una fase di filtrazione del prodotto glicolizzato, allo scopo di separare eventuali prodotti
25 solidi in sospensione, ad esempio cariche presenti nel PET di partenza, quali titanio biossido, che vengono aggiunte per impartire particolari proprietà al materiale. Tale filtrazione può essere realizzata con mezzi filtranti convenzionali, a cui viene alimentato il
30 prodotto glicolizzato, ad esempio tramite una pompa posta all'uscita del reattore in cui viene realizzata la fase (b).

Per quanto riguarda i macchinari utilizzabili per la realizzazione del processo secondo la presente invenzione, si tratta in genere di macchinari disponibili sul mercato per lavorazioni di vario tipo, come già illustrato sopra. Presse a vite e essiccatori a pale adatti allo scopo sono reperibili ad esempio nei cataloghi delle società Andritz Gouda BV, Huber Technology Inc. e Nara Machinery Co. Ltd.

Il processo secondo la presente invenzione può essere realizzato in modo discontinuo ("a batch"), oppure in modo continuo. L'operatività in continuo è evidentemente vantaggiosa dal punto di vista industriale ed è garantita dall'utilizzo in sequenza di una pressa a vite per la fase (a) e di un reattore a pale per la fase (b), che sono entrambi macchinari che possono operare in continuo.

Le dimensioni e le altre caratteristiche del reattore in cui si realizza la fase (b) (in particolare del reattore a pale) possono essere scelte in modo da ottenere un prodotto glicolizzato con il rapporto di glicolisi desiderato.

Tuttavia, nel caso in cui si voglia ottenere un prodotto glicolizzato contenente una quantità di monomero BHET particolarmente elevata, è necessario realizzare una glicolisi spinta. A tale scopo, onde evitare di dover predisporre un macchinario per la realizzazione della fase (b) di dimensioni eccessive, è vantaggioso sottoporre il prodotto glicolizzato risultante dalla fase (b) ad un'ulteriore fase di glicolisi (c), con un rapporto in peso EG:PET (R4) compreso tra 0,5 e 10,0, preferibilmente tra 1,0 e 5,0.

L'ulteriore fase di glicolisi (c) può essere

realizzata in un convenzionale reattore per liquidi, essendo il prodotto glicolizzato in forma liquida e quindi pompabile. Il reattore può essere, ad esempio, un reattore con flusso a pistone ("plug flow reactor" in
5 inglese) ovvero un reattore tubolare continuo ("continuous tubular reactor" in inglese), che garantiscono l'operatività in continuo. In alternativa, è possibile impiegare un reattore a serbatoio agitato ("stirred tank reactor" in inglese), che opera in modo
10 discontinuo, e che è essenzialmente formato da un serbatoio, dotato di condotti di ingresso e di uscita, in cui è presente un agitatore, in genere un agitatore ad elica, che mantiene la massa di reazione in movimento.

Nel caso in cui si voglia operare in modo continuo,
15 è altresì possibile utilizzare una pluralità di reattori a serbatoio agitato (in genere tre reattori sono sufficienti) posti in serie a formare un reattore multistadio che opera in continuo. Infatti, ciascun reattore discontinuo realizza una parte della glicolisi,
20 e tramite un opportuno dimensionamento dei reattori e una regolazione della portata di alimentazione in ingresso dalla fase (b), è possibile garantire l'operatività in continuo. Quest'ultima si realizza alimentando in modo continuo i reagenti nel primo
25 reattore che è dotato di stramazzo da cui la miscela di reazione fuoriesce e viene alimentata al secondo reattore in serie, dove la reazione continua. Anche il secondo reattore è dotato di stramazzo così da alimentare il terzo reattore, e così via fino ad ottenere il grado
30 di glicolisi desiderato. Questo tipo di realizzazione è illustrata in Figura 1.

Al termine della reazione di glicolisi, il prodotto

glicolizzato può essere sottoposto ad una fase di separazione di eventuali materiali solidi estranei, ad esempio poliolefine (quali polietilene, polipropilene e simili), che hanno in genere densità più bassa del
5 prodotto glicolizzato, per cui possono essere rimossi, ad esempio tramite sifonatura, schiumatura o aspirazione, dalla superficie del prodotto glicolizzato.

A tale scopo, nel caso in cui si utilizzi un'ulteriore fase di glicolisi (c) come sopra
10 illustrato, il reattore per liquidi, in particolare l'ultimo di essi nel caso in cui si impieghi una pluralità di reattori posti in serie, è dotato di uno stramazzo da cui vengono raccolti i materiali solidi a bassa densità, mentre il prodotto glicolizzato viene
15 recuperato dal fondo del reattore stesso. Per quanto sia preferibile utilizzare, nel caso di più reattori in serie, lo stramazzo presente sull'ultimo reattore della serie per raccogliere i materiali solidi a bassa densità, è possibile utilizzare per tale raccolta lo stramazzo
20 presente sui reattori che precedono l'ultimo reattore.

Preferibilmente, i materiali estranei così rimossi vengono raffreddati ad una temperatura attorno a 90°C-130°C, ad esempio tramite addizione di EG, così da agevolare la successiva separazione dei materiali
25 solidi, ad esempio per filtrazione, con recupero del liquido filtrato, che contiene BHET e/o suoi oligomeri. La filtrazione dei materiali polimerici alla temperatura a cui avviene la glicolisi sarebbe infatti assai difficoltosa, a causa dello stato fuso o semisolido in
30 cui si trovano tali materiali. Il liquido filtrato viene raccolto e aggiunto al prodotto glicolizzato recuperato dal fondo del reattore, aumentando così la resa

complessiva del processo di glicolisi.

Un ulteriore recupero di BHET e/o suoi oligomeri può essere ottenuto tramite lavaggi del materiale solido residuo con acqua e/o EG, sempre a temperature tali da
5 non provocare il rammollimento o la fusione del materiale polimerico, in genere tra 90°C e 130°C.

Secondo un altro aspetto, la presente invenzione riguarda un impianto per depolimerizzare polietilene tereftalato (PET) tramite glicolisi con etilenglicole
10 (EG), che comprende:

una pressa a vite a cui viene alimentato il PET e l'EG così da formare una miscela eterogenea tra PET ed EG, detta pressa a vite comprendendo un contenitore, di forma sostanzialmente cilindrica, entro cui è posta una
15 vite elicoidale rotante attorno al proprio asse, in cui la vite elicoidale definisce un canale di trasporto avente una sezione decrescente lungo l'asse della vite stessa, il contenitore avendo una parete filtrante attraverso la quale l'EG in eccesso fuoriesce;

20 un reattore a pale in cui viene alimentata la miscela eterogenea in uscita dalla pressa a vite, detto reattore comprendendo un contenitore, di forma sostanzialmente cilindrica, entro cui è disposta una coppia di alberi rotanti attorno al proprio asse e dotati
25 ciascuno di una pluralità di pale.

Preferibilmente, detta coppia di alberi e le relative pale sono riscaldate all'interno per fornire calore alla miscela eterogenea.

Preferibilmente, le pale presenti sugli alberi
30 rotanti sono tra loro interpenetranti.

Preferibilmente, le pale hanno una forma a cuneo.

Preferibilmente, il reattore a pale è dotato di un

sistema che consente di mantenere al suo interno un'atmosfera inerte.

Preferibilmente, l'impianto in accordo con la presente invenzione comprende inoltre una cella di
5 trasferimento, posta tra la pressa a vite e il reattore a pale, che raccoglie una quantità predeterminata della miscela eterogenea in uscita dalla pressa a vite e la trasferisce al reattore a pale per caduta. Tale cella di trasferimento è preferibilmente a tenuta idraulica, così
10 da mantenere un'atmosfera inerte all'interno del reattore a pale.

In una forma preferita di realizzazione, l'impianto in accordo con la presente invenzione comprende, a monte della pressa a vite, un mescolatore a cui vengono
15 alimentati il PET e l'EG per realizzare una premiscelazione degli stessi, con ottenimento di una miscela eterogenea che viene alimentata alla pressa a vite.

Preferibilmente, il miscelatore è un miscelatore continuo. Preferibilmente, il miscelatore è una coclea oppure un miscelatore a nastro ("ribbon blender" in
20 inglese).

In una forma preferita di realizzazione, l'impianto in accordo con la presente invenzione comprende, a valle
25 del reattore a pale, almeno un reattore per liquidi che viene alimentato da un flusso di prodotto glicolizzato in uscita dal reattore a pale e da EG, così da completare la glicolisi del PET.

Preferibilmente, detto reattore per liquidi è un
30 reattore continuo, in particolare un reattore con flusso a pistone (plug flow reactor) ovvero un reattore tubolare continuo (continuous tubular reactor).

In alternativa, detto reattore per liquidi è un reattore discontinuo, in particolare un reattore a serbatoio agitato (stirred tank reactor).

Per poter operare in continuo, il reattore per
5 liquidi può essere formato da una pluralità di reattori, preferibilmente tre reattori, a serbatoio agitato posti in serie a formare un reattore multistadio continuo.

Preferibilmente, a valle del reattore per liquidi, o della pluralità di reattori posti in serie, è presente
10 uno stramazzo da cui vengono rimossi eventuali materiali estranei solidi a bassa densità. A valle dello stramazzo è preferibilmente presente un dispositivo filtrante che separa i materiali estranei solidi dal prodotto glicolizzato.

15 La reazione di glicolisi può essere eventualmente realizzata in presenza di un catalizzatore di transesterificazione eterogeneo, il quale viene alimentato al mescolatore dove viene realizzata la fase (b).

20 Nel caso in cui la reazione di glicolisi venga completata nella fase (c), è possibile prevedere l'alimentazione al reattore di catalizzatore fresco, onde mantenere una velocità di reazione adeguata.

Il catalizzatore può essere selezionato, ad
25 esempio, tra: carbonati, sali di acidi grassi o borati di Na, Mg, Zn, Cd, Mn, Co, Ca o Ba (ad esempio borato di zinco, acetato di zinco, carbonato di sodio).

Preferibilmente, la reazione di glicolisi dell'eventuale fase (c) è eseguita ad una temperatura da
30 170°C a 250°C, più preferibilmente da 200°C a 230°C.

Per quanto riguarda il PET, questo è preferibilmente PET di scarto post-consumo e/o post-

industriale, che può derivare da una grande varietà di applicazioni come:

- bottiglie in PET trasparenti e/o colorate per acqua, bibite, bevande gassate, e simili;
 - 5 - articoli opachi in PET, in cui il PET contiene cariche, come ossido di titanio, nerofumo, silicati e altri pigmenti;
 - articoli in PET multistrato, tipicamente per l'industria alimentare, in cui gli strati di PET sono accoppiati con strati di polimeri di barriera ai gas (ad esempio nylon, polivinilalcol (EVOH), polivinilacetato (EVA)) o fogli di metallo (ad esempio fogli di alluminio) o fogli di poliolefina;
 - fogli di PET stampati;
 - 15 - fibre di PET.
- Il prodotto ottenuto dalla reazione di glicolisi è una soluzione di BHET grezza, in cui il BHET è disciolto in EG insieme a vari contaminanti che derivano dalla composizione specifica dei rifiuti di PET. Solitamente,
- 20 la soluzione di BHET grezza contiene anche oligomeri del BHET, preferibilmente dimeri e/o trimeri. I contaminanti sono ingredienti dei rifiuti di PET o derivati ottenuti mediante glicolisi di tali ingredienti, come:
- coloranti, solitamente coloranti organici;
 - 25 - inchiostri;
 - adesivi e colle;
 - poliolefine, ad esempio polietilene o polipropilene utilizzati per produrre tappi;
 - PET-G;
 - 30 - polimeri biodegradabili, ad esempio PLA;
 - polimeri di barriera ai gas, ad esempio poliammidi, polivinilalcol (EVOH), polivinilacetato

(EVA);

- assorbitori di UV;
- riempitivi, ad esempio biossido di titanio, nerofumo, silice, silicati e altri pigmenti;
- 5 - fogli di metallo e relativi frammenti, ad esempio fogli di alluminio.

Il prodotto glicolizzato grezzo può essere purificato secondo metodi noti. In particolare, il prodotto glicolizzato grezzo può essere sottoposto a
10 filtrazione per separare i contaminanti insolubili, ed eventualmente ad un trattamento per la rimozione di contaminanti solubili, ad esempio tramite un agente adsorbente.

L'impianto in accordo con la presente invenzione
15 viene ulteriormente illustrato sulla base delle seguenti figure:

Figura 1: schema di una realizzazione dell'impianto secondo la presente invenzione;

Figura 2: schema di un reattore a pale utilizzabile
20 nell'impianto secondo la presente invenzione;

Figura 2a: vista in sezione trasversale del reattore a pale di Figura 2;

Figura 3: schema di una pressa a vite utilizzabile nell'impianto secondo la presente invenzione.

25 Nella Figura 1 viene rappresentato uno schema di realizzazione dell'impianto (100) secondo la presente invenzione. Il PET da trattare e l'EG vengono alimentati tramite mezzi convenzionali (non rappresentati in figura) ad un miscelatore a nastro (101). Ad esempio il
30 PET può essere alimentato tramite un nastro trasportatore, mentre l'EG può fluire all'interno del miscelatore a nastro (101) tramite un condotto collegato

ad un serbatoio di stoccaggio. Il miscelatore a nastro (101) è preferibilmente dotato di mezzi di riscaldamento per portare la massa in lavorazione alla temperatura desiderata. Per raggiungere tale temperatura è altresì opportuno alimentare al miscelatore a nastro (101) EG pre-riscaldato. Nel mescolatore si forma una miscela eterogenea tra PET ed EG come sopra illustrato.

La miscela eterogenea viene quindi trasportata tramite un trasportatore a coclea (102) ed immessa all'interno di una pressa a vite (103), dove la miscela viene ulteriormente miscelata e compressa in modo da espellere un'aliquota dell'EG. L'EG in uscita viene raccolto e inviato nuovamente al serbatoio di stoccaggio tramite un condotto (104).

Come già illustrato in precedenza, la pressa a vite (103) comprende un cilindro (105) entro cui è posta una vite elicoidale (106) rotante attorno al proprio asse che definisce un canale di trasporto avente una sezione decrescente lungo l'asse della vite stessa (la rappresentazione in Figura 1 è schematica e viene meglio illustrata nella Figura 3).

All'estremità della pressa a vite (103) è presente una cella di trasferimento (107), la quale raccoglie una quantità predeterminata della miscela eterogenea in uscita dalla pressa a vite (103), la quale viene trasferita per caduta ad un reattore a pale (108). La cella di trasferimento (107) è preferibilmente a tenuta idraulica, così da mantenere un'atmosfera inerte nella successiva fase di lavorazione nel reattore a pale (108).

Come già illustrato in precedenza, il reattore a pale (108) comprende una vasca (109), dotata di coperchio, entro cui è disposta una coppia di alberi

(110) rotanti attorno al proprio asse, su cui è montata una pluralità di pale (111). Tale dispositivo viene meglio illustrato in una sua forma di realizzazione nella Figura 2. Al reattore a pale (108) viene alimentato EG ed eventualmente BHET e/o suoi oligomeri tramite un condotto (112). Al reattore a pale (108) può essere eventualmente alimentato anche un catalizzatore di transesterificazione.

Il reattore a pale (108) preferibilmente comprende un sistema a tenuta (non rappresentato in figura) che consente di mantenere al suo interno un'atmosfera inerte, ad esempio tramite immissione di azoto che va a sostituire l'aria presente.

Il prodotto glicolizzato in uscita dal reattore a pale (108) è un liquido che può essere pompato e utilizzato come desiderato, ad esempio inviato ad un processo di purificazione.

In Figura 1, il prodotto glicolizzato viene trasferito ad una serie di tre reattori a serbatoio agitato (113a, 113b, 113c), dove viene ulteriormente sottoposto a glicolisi, in modo da ottenere un grado di glicolisi spinto. Nel primo reattore (113a) può essere immesso EG, eventualmente in miscela con il catalizzatore di transesterificazione, tramite un condotto (114) collegato ad un serbatoio di stoccaggio.

Il primo reattore (113a) è dotato di uno stramazzo (115a) da cui la miscela di reazione fuoriesce e viene alimentata al secondo reattore (113b) tramite un condotto (116a), dove la reazione di glicolisi può continuare. Analogamente al primo reattore (113a), il secondo reattore (113b) è dotato di uno stramazzo (115b) che consente di prelevare la miscela di reazione e di

convogliarla, tramite un condotto (116b), al terzo reattore (113c). Nel terzo reattore (113c) la reazione di glicolisi viene completata e il prodotto glicolizzato viene estratto dal fondo del reattore (113c) con un
5 condotto (120). Anche il reattore (113c) è preferibilmente dotato di uno stramazzo (115c), che consente di rimuovere eventuali materiali estranei solidi a bassa densità (in particolare poliolefine) che affiorano e si concentrano sulla superficie del prodotto
10 glicolizzato liquido. Tali materiali estranei vengono quindi raffreddati tramite addizione di EG per mezzo di un condotto (117) e immessi in un dispositivo filtrante (118), che separa il solido dal liquido. Il liquido filtrato, che contiene BHET e/o suoi oligomeri, viene
15 raccolto e aggiunto tramite un condotto (119) al prodotto glicolizzato recuperato dal fondo del reattore. Il prodotto glicolizzato viene inviato alle fasi successive (ad esempio ad un impianto di purificazione) tramite il condotto (120).

20 Ciascun reattore (113a, 113b, 113c) è dotato di un condotto di spurgo (121a, 121b, 121c) per eliminare eventuali prodotti estranei ad alta densità, che si raccolgono sul fondo.

In Figura 2 viene rappresentato uno schema di
25 realizzazione di un reattore a pale utilizzabile nell'impianto secondo la presente invenzione.

Il reattore a pale (200) comprende una vasca (201) entro cui è disposta una coppia di alberi (202a, 202b) (in figura è visibile solo un albero) tra loro affiancati
30 e rotanti attorno al proprio asse, su ciascuno dei quali è montata una pluralità di pale (203a, 203b). Nella Figura 2 viene riportato uno spaccato della vasca (201)

solo nella parte iniziale allo scopo di mostrare la presenza degli alberi (202a, 202b) e delle pale (203a, 203b).

Le pale (203a, 203b) montate sui due alberi (202a, 5 202b) sono tra loro interpenetranti e hanno preferibilmente sezione triangolare (cioè forma a cuneo), la quale garantisce l'autopulitura delle pale stesse. Gli alberi (202a, 202b) sono collegati ad un motore (204) che li mette in rotazione. Gli alberi (202a, 10 202b) e le pale (203a, 203b), aventi struttura cava, sono collegati ad un bocchettone di ingresso (205a) di un fluido riscaldante, così da consentire l'ingresso del fluido all'interno degli alberi e delle pale che vengono quindi riscaldati per trasferire calore al materiale in 15 lavorazione. Inoltre, può essere presente un altro bocchettone di ingresso (205b) tramite il quale viene immesso un fluido riscaldante all'interno di una camicia riscaldante (201b) che racchiude la vasca (201). Il fluido riscaldante esausto viene estratto tramite un 20 bocchettone di uscita (206a) collegato agli alberi e un bocchettone di uscita (206b) collegato alla camicia riscaldante (201b).

Il materiale da lavorare viene immesso all'interno della vasca (201) tramite un bocchettone di 25 alimentazione (207) ed esce dalla vasca (201) tramite un bocchettone di scarico (208). E' altresì possibile alimentare alla vasca (201) EG e/o BHET e/o suoi oligomeri tramite un ulteriore bocchettone di alimentazione (209).

30 Il reattore a pale (200) è dotato di un sistema che consente di lavorare all'interno del macchinario in atmosfera inerte. Tale sistema può comprendere ad

esempio un bocchettone di immissione dell'azoto (210) e un bocchettone di sfiato (211), da cui viene recuperato l'azoto, che può essere riciclato all'impianto, e altri gas o vapori.

5 In Figura 2a viene rappresentata una sezione trasversale della vasca (201) e dei due alberi (202a, 202b) su cui sono montate le due serie di pale (203a, 203b). Come si può notare dalla Figura 2a, il fondo della vasca (201) ha una sezione trasversale con forma ad
10 omega, ciò che consente di mantenere una distanza sostanzialmente costante tra il brodo delle pale rotanti (202a, 202b) e il fondo, evitando ristagni del materiale in lavorazione e miscelazione omogenea di tutta la massa trattata.

15 In Figura 3 viene rappresentato uno schema di realizzazione di una pressa a vite utilizzabile nell'impianto secondo la presente invenzione.

La pressa a vite (300) comprende un contenitore (301), di forma sostanzialmente cilindrica, in cui è
20 alloggiata una vite elicoidale (302) montata su un albero (303) collegato ad un motore che ne consente la rotazione attorno al proprio asse. Un condotto di ingresso (304) immette il materiale da trattare (cioè PET ed EG) all'interno del contenitore (301). Come illustrato in
25 Figura 3, l'albero (303) ha una sezione crescente lungo il suo sviluppo dalla zona di alimentazione alla zona di scarico, così da ridurre gradualmente la sezione del canale di trasporto del materiale in lavorazione, che quindi viene compresso gradualmente mentre si muove
30 spinto dalla vite (302) in rotazione. Una riduzione graduale della sezione del canale di trasporto può essere altresì ottenuta riducendo gradualmente il passo della

vite elicoidale dalla zona di alimentazione alla zona di scarico.

In tal modo dal PET viene espulsa una parte dell'EG, che fuoriesce attraverso le forature presenti nella
5 parete del contenitore (301). Questa ha preferibilmente una parete filtrante con struttura a fili (wedge wire screen) come sopra illustrato. L'EG spremuto dal PET in lavorazione viene raccolto da un vassoio (305) e inviato al serbatoio di stoccaggio per il suo riutilizzo. Il PET
10 in miscela con EG così trattato viene scaricato tramite una cella di trasferimento (306) che va ad alimentare la fase successiva realizzata nel reattore a pale.

Ulteriori dettagli sulla struttura e sul funzionamento di una pressa a vite come sopra illustrata
15 sono riportati, ad esempio, in US 5.857.406 o US 2011/0297016.

Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Processo per depolimerizzare un polietilene tereftalato (PET) tramite glicolisi con etilenglicole
5 (EG), che comprende:

(a) miscelare il PET allo stato solido con EG ad una temperatura da 60°C a 120°C, preferibilmente da 80°C a 100°C, e pressare la miscela eterogenea così ottenuta in modo da espellere un'aliquota di EG così da ottenere
10 la miscela eterogenea con un rapporto in peso EG:PET (R1) compreso tra 0,1 e 3,0, preferibilmente tra 0,2 e 0,8;

(b) alimentare la suddetta miscela eterogenea in un mescolatore dove la miscela viene riscaldata e
15 mantenuta sotto miscelazione ad una temperatura da 170°C a 270°C, preferibilmente da 200°C a 250°C, con un rapporto in peso EG:PET (R2) compreso tra 0,1 e 4,0, preferibilmente tra 0,2 e 2,0, così da glicolizzare il PET con ottenimento di un prodotto glicolizzato
20 contenente bis(2-idrossietil) tereftalato (BHET) e/o suoi oligomeri.

2. Processo secondo la rivendicazione 1, in cui nella fase (a) il PET viene miscelato allo stato solido con una quantità di EG tale da ottenere inizialmente un
25 rapporto in peso EG:PET (R0) da 0,2 a 4,0, preferibilmente da 0,5 a 2,0.

3. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase (a) viene realizzata in una pressa a vite (screw press).

30 4. Processo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la fase (a) è suddivisa in due fasi (a1) e (a2), realizzate in due dispositivi differenti: la fase (a1)

di miscelazione del PET allo stato solido con EG, ad una temperatura da 60°C a 120°C, preferibilmente da 80°C a 100°C, con ottenimento della miscela eterogena, detta fase (a1) essendo realizzata in un mescolatore, 5 preferibilmente un mescolatore continuo, ad esempio una coclea oppure un miscelatore a nastro ("ribbon blender" in inglese); la fase (a2) di compressione della miscela eterogenea ottenuta nella fase (a1) che consente di espellere un'aliquota di EG dalla miscela stessa, così 10 da ottenere la miscela eterogenea con un rapporto in peso EG:PET (R1) compreso tra 0,1 e 3,0, preferibilmente tra 0,2 e 0,8, detta fase (a2) essendo realizzata in una pressa a vite.

5. Processo secondo una qualsiasi delle 15 rivendicazioni precedenti, in cui la miscela eterogenea viene trasferita dalla fase (a) alla fase (b) tramite passaggio in una cella di trasferimento che raccoglie una quantità predeterminata della miscela eterogenea in uscita dalla fase (a) la quale viene trasferita alla 20 fase (b) per caduta.

6. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase (b) viene realizzata in atmosfera inerte, ad esempio in atmosfera di azoto.

25 7. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui alla fase (b) viene alimentato BHET e/o suoi oligomeri, eventualmente recuperati durante le successive fasi del processo.

8. Processo secondo una qualsiasi delle 30 rivendicazioni precedenti, in cui la fase (b) viene realizzata in un reattore a pale.

9. Processo secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni precedenti, in cui il PET allo stato solido viene alimentato alla fase (a) tal quale, vale a dire senza essere stato ridotto in scaglie.

10. Processo secondo una qualsiasi delle
5 rivendicazioni precedenti, in cui al termine della fase (a) la miscela eterogenea ha un contenuto di acqua uguale o inferiore a 0,5% in peso, rispetto al peso del PET.

11. Processo secondo una qualsiasi delle
10 rivendicazioni precedenti, che comprende inoltre una fase di filtrazione del prodotto glicolizzato ottenuto dalla fase (b).

12. Processo secondo una qualsiasi delle
15 rivendicazioni precedenti, che comprende inoltre sottoporre il prodotto glicolizzato risultante dalla fase (b) ad un'ulteriore fase di glicolisi (c), con un rapporto in peso EG:PET (R4) compreso tra 0,5 e 10,0, preferibilmente tra 1,0 e 5,0.

13. Processo secondo la rivendicazione 12, in cui l'ulteriore fase di glicolisi (c) è realizzata in un
20 reattore per liquidi, ad esempio un reattore con flusso a pistone (plug flow reactor) ovvero un reattore tubolare continuo (continuous tubular reactor) ovvero un reattore a serbatoio agitato (stirred tank reactor).

14. Processo secondo la rivendicazione 12, in cui l'ulteriore fase di glicolisi (c) è realizzata in
25 una pluralità di reattori a serbatoio agitato, preferibilmente in tre reattori a serbatoio agitato, posti in serie a formare un reattore multistadio che opera in continuo.

30 15. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il prodotto glicolizzato in uscita dalla fase (b) o dalla fase (c)

è sottoposto ad una fase di separazione di eventuali materiali solidi estranei, ad esempio poliolefine, aventi una densità più bassa del prodotto glicolizzato, i quali vengono rimossi dalla superficie del prodotto glicolizzato.

16. Processo secondo la rivendicazione 15, in cui i materiali solidi estranei rimossi dalla superficie del prodotto glicolizzato vengono raffreddati ad una temperatura attorno a 90°C-130°C, ad esempio tramite addizione di EG, così da agevolare la successiva separazione dei materiali solidi, ad esempio per filtrazione, con recupero del liquido filtrato, che contiene BHET e/o suoi oligomeri.

17. Impianto per depolimerizzare polietilene tereftalato (PET) tramite glicolisi con etilenglicole (EG), che comprende:

una pressa a vite a cui viene alimentato il PET e l'EG così da formare una miscela eterogenea tra PET ed EG, detta pressa a vite comprendendo un cilindro entro cui è posta una vite elicoidale rotante attorno al proprio asse, in cui la vite elicoidale definisce un canale di trasporto avente una sezione decrescente lungo l'asse della vite stessa;

un reattore a pale in cui viene alimentata la miscela eterogenea in uscita dalla pressa a vite, detto reattore comprendendo un contenitore, di forma sostanzialmente cilindrica, entro cui è disposta una coppia di alberi rotanti attorno al proprio asse e dotati ciascuno di una pluralità di pale.

18. Impianto secondo la rivendicazione 17, in cui, in detto reattore a pale, gli alberi rotanti e le pale sono riscaldati all'interno per fornire calore alla

miscela eterogenea.

19. Impianto secondo la rivendicazione 17 o 18, in cui, in detto reattore a pale, le pale presenti sugli alberi rotanti sono tra loro interpenetranti.

5 20. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 19, in cui le pale hanno una forma a cuneo.

21. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 20, in cui il reattore a pale è
10 dotato di un sistema che consente di mantenere al suo interno un'atmosfera inerte.

22. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 21, che comprende inoltre una cella di trasferimento, posta tra la pressa a vite e il
15 reattore a pale, che raccoglie una quantità predeterminata della miscela eterogenea in uscita dalla pressa a vite e la trasferisce al reattore a pale per caduta.

23. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 22, che comprende, a monte della pressa a vite, un mescolatore a cui vengono alimentati il PET e l'EG per realizzare una premiscelazione degli
20 stessi, con ottenimento di una miscela eterogenea che viene alimentata alla pressa a vite.

24. Impianto secondo la rivendicazione 23, in cui il miscelatore è un miscelatore continuo, preferibilmente una coclea oppure un miscelatore a
25 nastro (ribbon blender).

25. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 17 a 24, che comprende, a valle del reattore a pale, almeno un reattore per liquidi che viene
30 alimentato da un flusso di prodotto glicolizzato in

uscita dal reattore a pale e da EG, così da completare la glicolisi del PET.

26. Impianto secondo la rivendicazione 25, che comprende, a valle del reattore a pale, una pluralità di reattori, preferibilmente tre reattori, a serbatoio agitato posti in serie a formare un reattore multistadio continuo.

27. Impianto secondo la rivendicazione 25 o 26, in cui, a valle del reattore per liquidi, o della pluralità di reattori posti in serie, è presente uno stramazzo da cui vengono rimossi eventuali materiali estranei solidi a bassa densità.

15 Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

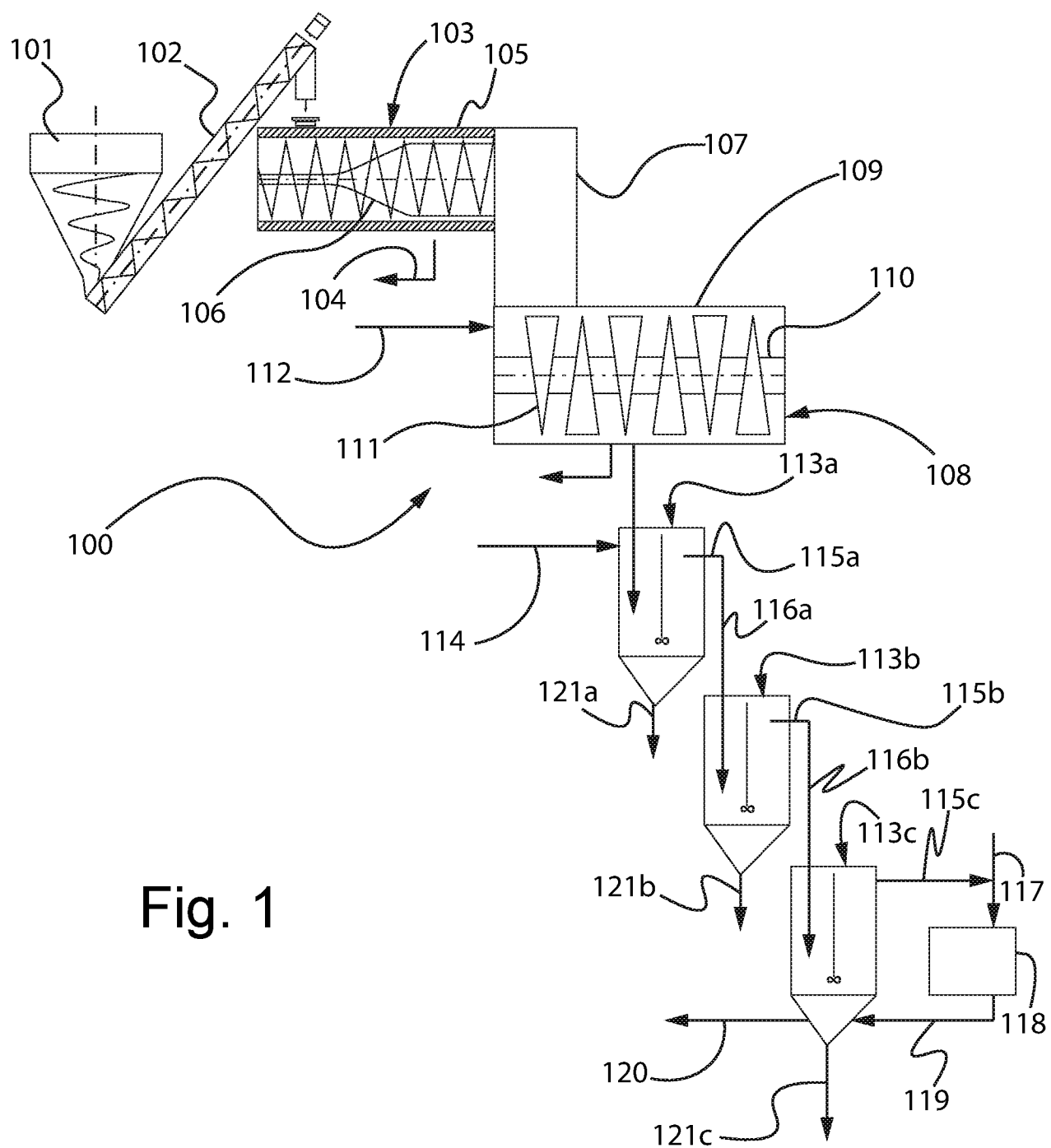


Fig. 1

Fig. 2

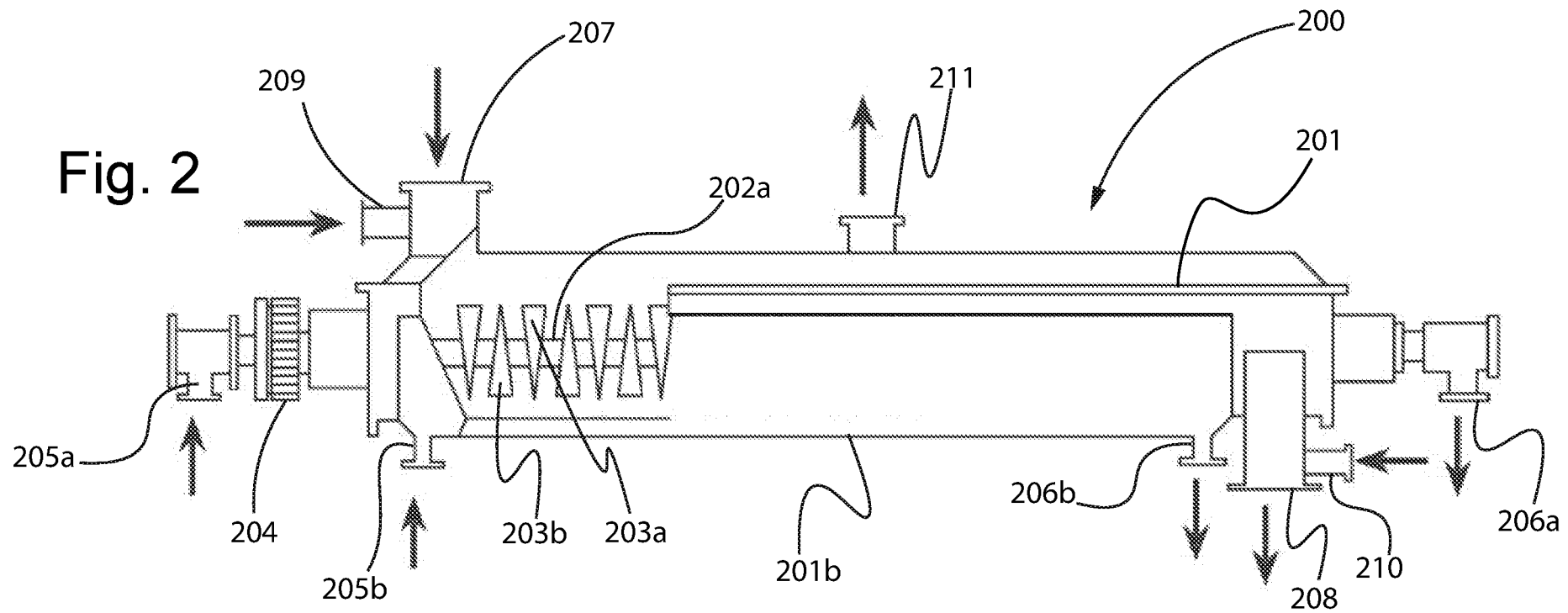
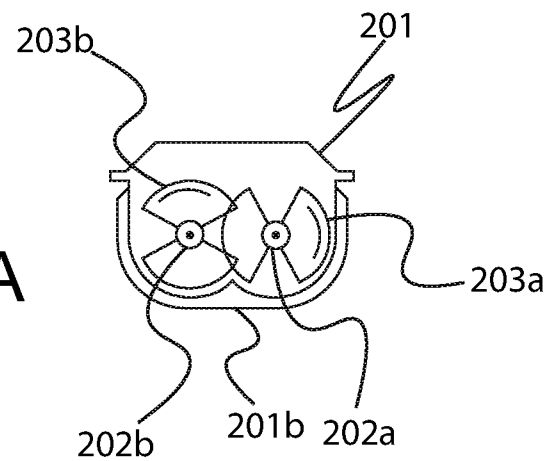


Fig. 2A



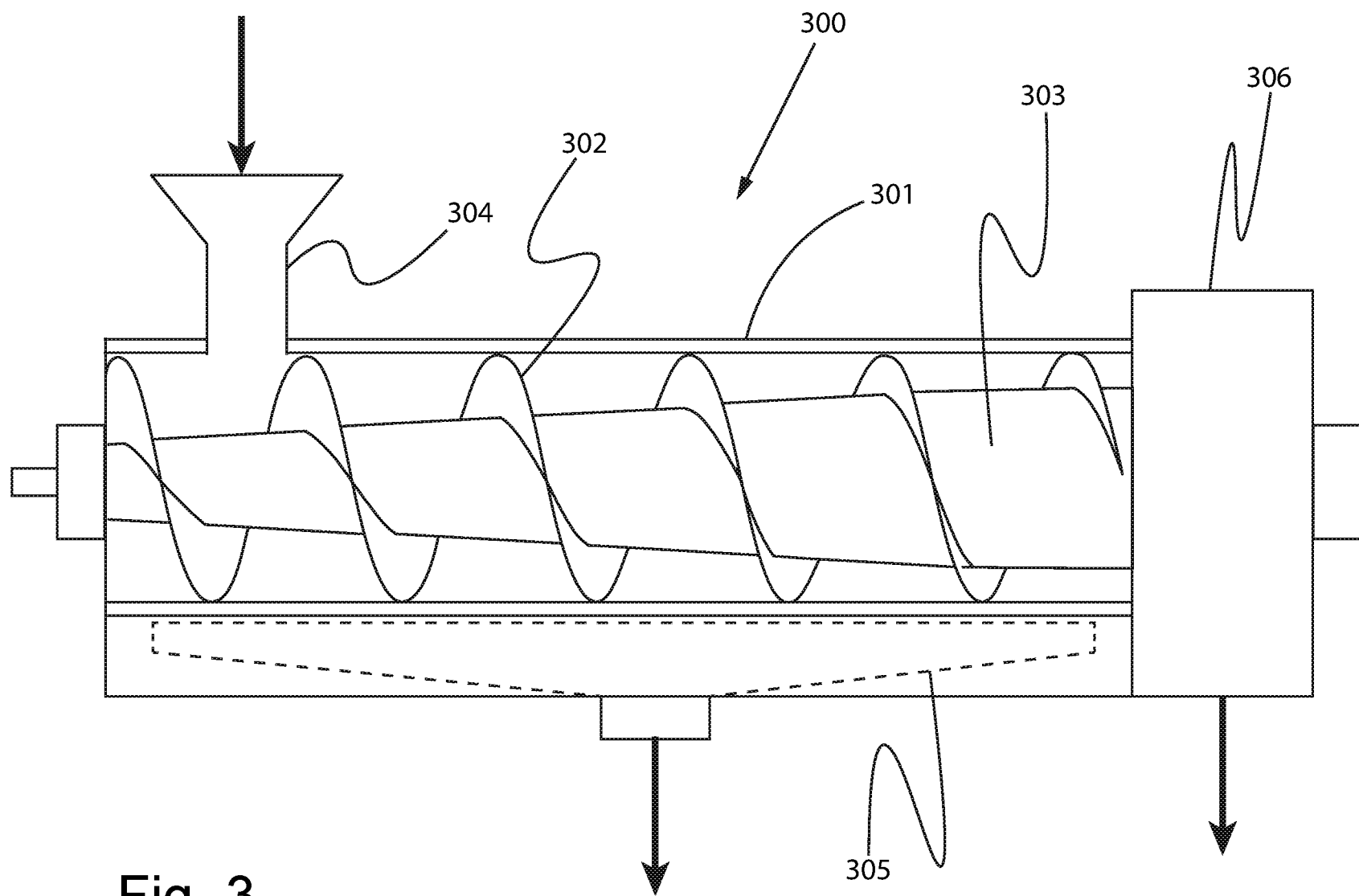


Fig. 3