MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	**102008901631531**
Data Deposito	**29/05/2008**
Data Pubblicazione	**29/11/2009**

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	01	D		

Titolo

FOTOREATTORE CATALITICO AD ALTA EFFICIENZA DI ILLUMINAZIONE PER PROCESSI INTENSIFICATI DI FOTOSSIDAZIONE

Titolo: Fotoreattore catalitico ad alta efficienza di illuminazione per processi intensificati di fotossidazione

Campo tecnico dell'invenzione

La presente invenzione riguarda la messa a punto di un reattore fotocatalitico gas-solido ad alta efficienza di illuminazione e la sua applicazione alla rimozione di composti organici volatili (COV) in correnti gassose o a processi innovativi di sintesi di sostanze organiche. Il fotoreattore si presenta di volume ridotto, con elevata efficienza di illuminazione, e riscaldabile dall'interno sino a 160°C. Queste caratteristiche lo rendono di estrema versatilità nell'installazione e nell'utilizzo. Alte prestazioni fotocatalitiche vengono ottenute attraverso l'individuazione di opportuni catalizzatori, innovativi per i processi suddetti.

Riassunto

La presente invenzione riguarda la realizzazione di sintesi di composti organici o di abbattimento di composti organici volatili (COV) in un fotoreattore catalitico gas-solido a letto fluido con migliorata efficienza di illuminazione. Il fotoreattore è costituito da un reattore catalitico a letto fluido bidimensionale con due pareti trasparenti alla radiazione ultravioletta, da un sistema di illuminazione a matrice di LED posizionato all'esterno in prossimità delle pareti piane, riscaldato per effetto Joule all'interno del letto catalitico per il controllo della temperatura di reazione. Sorprendentemente, attraverso la scelta di un opportuno catalizzatore, e delle condizioni di esercizio del fotoreattore a letto fluido è possibile realizzare sia reazioni di ossidazione totale che parziale con elevata attività e selettività. Ancora più sorprendentemente il valore della superficie illuminata di

IL RETTORE

catalizzatore per unità di volume irradiato assume valori dell'ordine di 10^6 m^{-1}, nettamente superiori a quelli propri dei microreattori, pari a 250.000 m^{-1} e dei reattori slurry con valori compresi nell'intervallo 8.500-170.000 m^{-1}. Il sistema fotocatalitico riportato nella presente invenzione risulta avere un'elevata efficienza di illuminazione a causa all'impiego dei LED UV, che, garantendo una direzione di irraggiamento ortogonale al punto di emissione, minimizzano la dispersione di fotoni.

E' stato valutato il funzionamento del fotoreattore rispetto alla deidrogenazione ossidativa di cicloesano a benzene, a cicloesene, di etilbenzene a stirene, di etanolo ad acetaldeide. Sorprendentemente catalizzatori a base di metalli di transizione supportati su TiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, in presenza di solfati o altri anioni, sono risultati maggiormente attivi nell'ottenimento di prodotti di deidrogenazione ossidativa o di prodotti di ossidazione parziale. Risulta efficace nell'ossidazione totale di benzene, acetone e toluene in correnti diluite.

Stato della tecnica dell'invenzione

Quando si realizza una reazione fotocatalitica, sono necessari l'ottenimento dell'irradiazione ottimale del fotocatalizzatore e un buon contatto tra catalizzatore e reagenti. A tale scopo sono stati impiegati diversi reattori (T. Van Gerven, Mul G., J. Moulijn, Stankiewicz A., Chem. Eng. Process, 46 (2007) 781); tra i più citati si trovano reattori liquido-solido-gas a completo mescolamento, reattori anulari, reattori ad immersione, reattori a tubo ottico e reattori a fibre ottiche, microreattori.

In un letto granulare fisso la radiazione incidente viene in parte assorbita fornendo l'energia di band-gap al catalizzatore ed in parte diffusa dalle particelle di catalizzatore stesso. Solo una frazione della radiazione diffusa incontra di nuovo altro catalizzatore

IL RETTORE

per venire assorbita o ancora ridispersa. Nei letti catalitici fissi a film o nei rivestimenti, la radiazione diffusa non può incontrare nuovamente altro catalizzatore.

La probabilità di collisione con i fotoni diffusi è più alta se presente un rimescolamento delle particelle di catalizzatore. I reattori catalitici a letto fluido consentono un eccellente contatto tra catalizzatore e i reagenti, alta velocità di trasferimento di massa e di calore, oltre ad un facile controllo della temperatura di reazione. Nelle reazioni fotocatalitiche possono fornire il vantaggio di una migliore utilizzazione della luce, con conseguente aumento di attività correlate all'utilizzo da parte del fotocatalizzatore non solo della radiazione incidente ma anche di quella diffusa dalle particelle del catalizzatore stesso.

Si possono confrontare le diverse configurazioni di reattori tramite l'efficienza di illuminazione (Eq. 1), η_{ill} , (T. Van Gerven, Mul G., J. Moulijn, Stankiewicz A., Chem. Eng. Process, 46 (2007) 781), che tiene conto della superficie illuminata di catalizzatore per volume irradiato (κ, m^{-1}), l'efficienza media di potenza, definita come il rapporto tra la potenza media radiante incidente sul catalizzatore, misurata con una sonda radiometrica a diversi posizioni e la potenza radiante emessa e l'uniformità di incidenza. l'uniformità di incidenza è definita dal rapporto tra la superficie del catalizzatore che riceve almeno il minimo di energia necessario per attivarlo e la superficie totale di catalizzatore.

$$\eta_{ill} = k\left(\frac{P_{Cat}}{P_{Lamp}}\right)\left(\frac{A_{\min E}}{A_{Cat}}\right) \qquad \text{Eq. 1}$$

Dove η_{ill} è l'efficienza di illuminazione (m^{-1}), k è la superficie illuminata di catalizzatore per unità di volume irradiato ($m^2_{ill}\ m^{-3}_{reattore}$ o m^{-1}), P_{cat} è la potenza radiante incidente sulla superficie del catalizzatore (W), P_{lamp} è la potenza radiante

IL RETTORE

emessa dalla lampada (W), A_{minE} è la superficie di catalizzatore che riceve almeno l'energia di band gap (m^2) e A_{cat} è la superficie totale del catalizzatore (m^2).

Il valore della superficie illuminata di catalizzatore per unità di volume irradiato (k) assume valori compresi nell'intervallo 8500-170000 m^{-1} nel caso dei reattori slurry. Quelli altamente più efficienti dal punto di vista dell'illuminazione risultano essere i microreattori fotocatalitici per i quali k raggiunge il valore di 250000 m^{-1}. La totalità degli studi sulle reazioni fotocatalitiche condotte in reattori a letto fluido, impiega lampade UV a vapori di mercurio (a media e/o bassa pressione) come sorgenti di luce per attivare il fotocatalizzatore. In particolare, per il trattamento fotocatalitico di ossidi di azoto (NO_x) è stato impiegato un reattore a letto fluido di particelle ultrafini di TiO_2 (Matsuda S., Hatano H., Tsutsumi A., J. Chem. Eng. 82 (2001) 183). Come materiale per il letto sono stati utilizzati tre diversi agglomerati con diametro delle particelle primarie di 7, 20 e 200 nm.

Per la riduzione fotocatalitica di NO su catalizzatori a base di CuO supportato su titania sono stati impiegati reattori a letto fluido di tipo anulare e bidimensionale. Su un catalizzatore al 3,3% in peso di CuO la conversione di NO è risultata oltre il 70% per una velocità superficiale del gas pari a 2,5 volte la velocità di minima fluidizzazione, U_{mf} (Lim TH, Jeong SM, SD Kim, Gyenis J . J. Photochem. Photobiol. A: Chimica, 134, (2000) 209).

L'ossidazione fotocatalitica di etanolo in fase gas è stata studiata in un reattore a letto fluido anulare (Kim M., Nam W., Han GY, J. Chem. Eng. 21 (2004), 721) impiegando gel di silice ricoperto di TiO_2. La lampada UV è stata installata al centro del reattore come fonte di radiazione. È stato riscontrato che, per una velocità superficiale del gas pari a 1,2 volte la velocità di minima fluidizzazione, si converte circa l'80% di etanolo

IL RETTORE

(a concentrazione iniziale di 10000 ppm), mentre l'aumento della velocità superficiale di gas riduce significativamente la conversione.

Anche la sintesi fotocatalitica a letto fluido di NH_3 è stata realizzata su TiO_2 drogata (PL Yue, Khan F., L. Rizzuti, Chem. Eng. Sci. 38 (1983), 1893).

In tutti i casi il fotocatalizzatore deve presentare buone caratteristiche di fluidizzazione.

In U. S. Pat. N ° 5.374.405 di Firnberg et al. si impiega un reattore che comprende un letto poroso a tamburo rotante all'interno di un contenitore. I gas entrano attraverso le pareti del tamburo ed escono in alto. La sorgente di luce ultravioletta è posizionata all'interno del tamburo. Nel U. S. Pat. N ° 6.315.870 di Tabatabaie-Raissi et al. si rivendica un metodo per il controllo fotocatalitico di inquinanti ad alto flusso, basato sull'impiego di aerogels di ossidi metallici, in combinazione con un reattore a letto fluido rotante irradiato da un lampada UV collocata lungo l'asse di rotazione.

Il brevetto U. S. Pat. N. 5030607, attribuito a Colmenares, mostra un metodo per la sintesi fotocatalitica di idrocarburi a catena corta su aerogels di silice trasparente alla radiazione UV, drogato con ioni fotoattivi di uranile in un fotoreattore a letto fluido avente una (1) finestra trasparente esposta a radiazioni provenienti da una fonte luminosa esterna.

Liedy et al. (U. S. Pat. No 20050178649) ha messo a punto un sistema per la realizzazione di reazioni fotocatalizzate in mezzi di reazione liquidi o gassosi, che consiste in un reattore contenente il fotocatalizzare solido particellare, irradiato all'interno tramite il mescolamento con dei microradiatori, eccitati mediante irradiazione in un camera all'esterno del reattore, e che emettono per fosforescenza la radiazione utile per il fotocalizzatore. I microradiatori possono essere poi separati dal fotocatalizzatore e riciclati al sistema di illuminazione esterna.

IL RETTORE

Con i recenti sviluppi, è emerso che i LED UV possono diventare una valida fonte di luce per la fotocatalisi. Un LED UV è un diodo, che emette luce UV combinando buche e ed elettroni all'interfaccia di due materiali semiconduttori. I LED UV sono di lunga durata, robusti, di piccole dimensioni e di elevata efficienza. I loro spettri di emissione sono stretti e la loro lunghezza d'onda di picco può essere scelta in fase di progettazione. Nel brevetto internazionale. No.000302 di Kim et al. si riferisce di un depuratore fotocatalitico per eliminare vari inquinanti, tra cui i materiali organici volatili, in aria utilizzando UV-LED per eccitare il fotocatalizzatore nella forma di letto catalitico fisso a film depositato su un supporto.

Il brevetto internazionale. No.049282 di Muggli mostra un letto fluido contenente lampade ultraviolette immerse nel letto catalitico al fine di porificare l'aria indoor. Miglioramenti nella fluidizzazione, come vibratori e miscelatori statici, possono essere impiegati per consentire una migliore circolazione del catalizzatore formante il letto ed aumentare l'efficienza di reazione.

Allo stato attuale non sono stati condotti studi per quanto riguarda l'uso di reattore a letto fluido bidimensionale fotocatalitico, internamente riscaldato ed irradiato da matrici di LED UV posizionate in prossimità sulle sue pareti esterne per l'ottenimento di reazioni di fotosaidazione. Non ci sono indicazioni riguardo l'impiego di letti di catalizzatore diluiti con allumina o silice o gel di silice o vetro di opportuna granulometria.

Obiettivi dell'invenzione

L'obiettivo principale della invenzione è quello di sviluppare un sistema per realizzare reazioni fotocatalitiche eterogenee gas-solido, che evita la successiva separazione del catalizzatore dalla corrente di reazione. Il sistema è costituito da un reattore a letto fluido bidimensionale a due pareti trasparenti piane con illuminazione esterna, fornita da lampade UV o matrici di LED UV. Il fotoreattore è dotato di un riscaldatore elettrico immerso nel letto catalitico per il controllo della temperatura di reazione sino a 200°C. Altro obiettivo della invenzione è quello di realizzare l'ossidazione fotocatalica totale di COV.

Un altro obiettivo della invenzione è quello di dimostrare l'efficacia del sistema nell' ossidazione selettiva fotocatalitica di idrocarburi.

Un ulteriore obbiettivo è mostrare l'efficacia di fotocatalizzatori a base di metalli di transizione, anioni quali solfato, fosfato etc., supportati su ossidi di alluminio o titanio o zirconio o zinco o loro ossidi misti, in specifiche reazioni fotocatalitiche quali l'ossidazione parziale, totale, la deidrogenazione ossidativi.

Riepilogo dell'invenzione

La presente invenzione riguarda la messa a punto di un reattore fotocatalitico gas-solido a letto fluidizzato bidimensionale a due pareti trasparenti piane con illuminazione esterna, fornita da matrici di LED e caratterizzato da un'elevata efficienza di illuminazione. Il reattore è dotato di un riscaldatore elettrico immerso nel letto catalitico per il controllo della temperatura di reazione. L'invenzione sottolinea il vantaggio dell'accoppiare gli aspetti positivi dovuti all'impiego di un sistema a letto fluidizzato e dei LED che sono robusti, di piccole dimensioni e altamente efficienti nel fornire una

radiazione luminosa di opportuna lunghezza d'onda. Il reattore a letto fluidizzato presenta una sezione trasversale di passaggio dei gas di dimensioni 40 mm x 10 mm; la sua altezza è pari a 230 mm mentre le pareti trasparenti presentano uno spessore pari a 2mm. Un filtro in metallo sinterizzato (avente una dimensione compresa nell'intervallo 0.1-1000 μm, più preferibilmente nell'intervallo 4-50 μm e più preferibilmente 5 μm) è utilizzato per realizzare una distribuzione uniforme del gas alimentato. Due matrici di LED sono assemblate e adattate alla geometria del fotoreattore allo scopo di realizzare la massima efficienza di illuminazione del reattore. I LED impiegati hanno uno spettro di emissione centrato a 365 nm, che è la giusta lunghezza d'onda per attivare il semiconduttore impiegato come fotocatalizzatore. Un obiettivo della invenzione è quello di realizzare l'ossidazione fotocatalica totale di COV. Ossidi di Titanio, alluminio, zirconio, zinco o loro ossidi misti in polvere sono impiegati come catalizzatori. L'aggiunta di metalli di transizione quali vanadati e molibdati ed di anioni quali solfato, fosfato migliora le proprietà desiderate del fotocatalizzatore. I metalli di transizione e gli anioni vengono supportati attraverso impregnazione ad umido impiegando soluzioni acquose di sali opportunamente scelti, e successivo trattamento in aria ad alta temperatura.

Inoltre è stata dimostrata l'efficacia del sistema nell'ossidazione selettiva fotocatalitica di idrocarburi, in particolare nella reazione fotocatalitica di deidrogenazione ossidativa. Per quest'ultima reazione, una vasta gamma di idrocarburi quali cicloesano, etilbenzene ed etanolo sono alimentati nel reattore a letto fluidizzato. Sono impiegati preferibilmente catalizzatori solfatati a base di molibdeno, vanadio e tungsteno transizione e gli anioni sono supportati attraverso impregnazione ad umido impiegando

soluzioni acquose di sali opportunamente scelti, e successivo trattamento in aria ad alta temperatura.

Breve descrizione dei disegni allegati

La Figura 1 mostra lo schema di una matrice di LED.

La Figura 2 mostra uno schema del reattore fotocatalitico bidimensionale a letto fluidizzato

La Figura 3 mostra lo schema dell'apparato di laboratorio per la misura dell'attività fotocatalitica.

La Figura 4 mostra l'evoluzione del grado di conversione del benzene in funzione del tempo di illuminazione durante un esperimento di ossidazione fotocatalitica in aria su TiO_2 (PC500), e su un catalizzatore contenente lo 0.8% in peso di V_2O_5 come carico nominale (0.8V) supportato su PC500. Condizioni sperimentali: massa catalizzatore = 3 g; C^0_{C6H6}=200 ppm; rapporto H_2O/C_6H_6 = 1.5; P= 1 atm; T=80°C; Q_{tot}= 50 Nlt/h; flusso luminoso incidente: 100mW/cm^2.

La Figura 5 mostra l'evoluzione della CO_2 sviluppata durante la reazione di foto-ossidazione del benzene in corrente di aria su TiO_2 (PC500), e su un catalizzatore contenente lo 0.8% in peso di V_2O_5 come carico nominale (0.8V) supportato su PC500. Condizioni sperimentali: massa catalizzatore = 3 g; C^0_{C6H6}=200 ppm; rapporto H_2O/C_6H_6 = 1.5; P= 1 atm; T=80°C; Q_{tot}= 50 Nlt/h; flusso luminoso incidente: 100mW/cm^2.

La Figura 6 mostra l'andamento della concentrazione (in unità arbitrarie) di cicloesano, ossigeno, benzene a cicloesene in funzione del tempo di prova. Condizioni sperimentali: C^0_{C6H12}=1000 ppm; rapporto O_2/C_6H_{12} = 1.5; rapporto H_2O/C_6H_{12} = 1.6; P= 1 atm; T=120°C; Q_{tot}= 50 Nlt/h; flusso luminoso incidente: 100mW/cm^2.

IL RETTORE

Vantaggi dell'invenzione

- La facile e semplice preparazione dei catalizzatori a base di metalli di transizione e anioni solfato supportati su titania e allumina per le reazioni di ossidazione fotocatalitica.
- L'attività dei catalizzatori per la rimozione fotocatalitica di COV in correnti gassose
- L'attività dei catalizzatori per la sintesi fotocatalitica selettiva di alcheni, aromatici ed aldeidi in correnti gassose in condizioni miti.
- La possibilità di realizzare con elevata efficienza reazioni fotocatalitiche eterogenee gas-solido,evitando la successiva separazione del catalizzatore dalla corrente di reazione.
- Il volume ridotto volume del fotoreattore a letto fluido bidimensionale, con elevata efficienza di illuminazione, e riscaldabile sino a 160°C.
- L' estrema versatilità nell'installazione e nell'utilizzo di uno o più fotoreattori in serie o in parallelo.
- L'elevata efficienza di illuminazione anche a causa all'impiego dei LED UV.

Rivendicazioni

1. Un fotoreattore a letto fluidizzato bidimensionale costituto da un sistema con due pareti trasparenti piane, un elemento riscaldante posizionato nel suo interno, illuminazione all'esterno, un letto di catalizzatore tal quale, o diluito con allumina e/o sílice e/o gel di silice e/o vetro di opportuna granulometria.

illuminazione all'esterno mediante matrici di LED UV, un letto di catalizzatore tal quale, o diluito con allumina e/o silice e/o gel di silice e/o vetro di opportuna granulometria.

3. L'impiego di catalizzatori a base di metalli di transizione e anioni solfato supportati su titania e allumina per le reazioni di ossidazione fotocatalitica.
4. L'impiego di un catalizzatore a base di solfato e/o Mo, V supportato su titania per l'ossidazione completa di composti organici da correnti gassose.
5. L'impiego di un catalizzatore a base di solfato e/o Mo, V supportato su titania per la fotodeidrogenazione ossidativa selettiva di composti organici
6. L'impiego di un catalizzatore a base di solfato e/o Mo e/o V supportato su allumina per la fotodeidrogenazione ossidativa selettiva di composti organici
7. L'impiego di un catalizzatore a base di solfato e/o Mo e/o V supportato su titania per la fotoossidazione selettiva di composti organici ad aldeidi.
8. L'impiego di catalizzatori come riportato nelle rivendicazioni N.3,4,5,6,7 in un fotoreattore gas-solido bidimensionale riscaldato internamente ed irradiato dalle pareti trasparenti.
9. L'impiego di catalizzatori come riportato nelle rivendicazioni N.3,4,5,6,7 in un fotoreattore gas-solido bidimensionale riscaldato internamente ed irradiato dalle pareti trasparenti mediante diluizione con allumina.
10. L'impiego di catalizzatori come riportato nelle rivendicazioni N.3,4,5,6,7 mediante diluizione con gel di silice in un fotoreattore gas-solido bidimensionale riscaldato internamente ed irradiato dalle pareti trasparenti.
11. L'impiego di catalizzatori come riportato nelle rivendicazioni N.3,4,5,6,7 strutturati in forma granulare in un fotoreattore gas-solido bidimensionale

riscaldato internamente ed irradiato dalle pareti trasparenti mediante diluizione con gel di silice

12. L'irradiazione del fotoreattore gas-solido a letto fluido irradiato dall'esterno da matrici di LED UV.
13. L'impiego di un catalizzatore supportato come riportato nella rivendicazione N.4 che ha un carico di solfato (espresso come SO_3) compreso nell'intervallo 0.1-18%, più preferibilmente nell'intervallo 0.2-5%, preferibilmente pari a 0.3 %, e che ha un carico di Mo e/o V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) compreso nell'intervallo 0.2-10 %, più preferibilmente nell'intervallo 0.8-4%, preferibilmente pari a 0.8 %.
14. L'impiego di un catalizzatore supportato su cordierite come riportato nella rivendicazione N.4 che ha un carico di solfato e/o Mo, V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) variabile nell'intervallo 0.1-18 %.
15. L'impiego di un catalizzatore supportato come riportato nella rivendicazione N.5 che ha un carico di solfato (espresso come SO_3) compreso nell'intervallo 0.1-18%, più preferibilmente nell'intervallo 0.2-6%, preferibilmente pari a 2 %, e che ha un carico di Mo e/o V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) compreso nell'intervallo 0.2-14% più preferibilmente nell'intervallo 2-12%, preferibilmente pari a 8 %.
16. L'impiego di un catalizzatore supportato su cordierite come riportato nella rivendicazione N.5 che ha un carico di solfato e/o Mo, V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) variabile nell'intervallo 0.1-14%.
17. L'impiego di un catalizzatore supportato come riportato nella rivendicazione N.6 che ha un carico di solfato (espresso come SO_3) compreso nell'intervallo 0.1-

che ha un carico di Mo e/o V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) compreso nell'intervallo 0.2-14% più preferibilmente nell'intervallo 2-12%, preferibilmente pari a 8 %.

18. L'impiego di un catalizzatore supportato su cordierite come riportato nella rivendicazione N.6 che ha un carico di solfato e/o Mo, V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) variabile nell'intervallo 0.1-14%.
19. L'impiego di un catalizzatore supportato come riportato nella rivendicazione N.7 che ha un carico di solfato (espresso come SO_3) compreso nell'intervallo 0.1-18%, più preferibilmente nell'intervallo 0.2-6%, preferibilmente pari a 0.3 %, e che ha un carico di Mo e/o V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) compreso nell'intervallo 2-10% più preferibilmente nell'intervallo 4-7%, preferibilmente pari a 5 %.
20. L'impiego di un catalizzatore supportato su cordierite come riportato nella rivendicazione N.7 che ha un carico di solfato e/o Mo, V (espresso come MoO_3 o come V_2O_5) variabile nell'intervallo 0.1-10.%.
21. Un procedimento per la degradazione fotocatalitica di contaminanti organici a pressione ambiente e temperatura compresa tra 40 e 160°C.
22. Un procedimento per l'ossidazione parziale selettiva di sostanze organiche a pressione ambiente e temperatura compresa tra 40 e 160°C.
23. L'impiego di più fotoreattori a letto fluido in serie come nella rivendicazione N. 9.
24. L'impiego di più fotoreattori a letto fluido in serie come nella rivendicazione N. 10.
25. L'impiego di più fotoreattori a letto fluido in serie come nella rivendicazione N. 11.

26. L'impiego di più fotoreattori a letto fluido in parallelo come nella rivendicazione N. 12.
27. L'impiego di catalizzatori come riportato nella rivendicazioni N. 3,4,5,6,7 dove il reattore è di tipo tubolare a letto fluido, irradiato internamente da lampade, ricircolato, a tenuta di gas.
28. L'impiego di catalizzatori come riportato nella rivendicazioni N. 3,4,5,6,7 dove il reattore è di tipo tubolare a letto fluido, irradiato internamente da microradiatori, ricircolato, a tenuta di gas.
29. L'impiego di catalizzatori come riportato nella rivendicazioni N. 3,4,5,6,7 in fotoreattori per le reazioni suddette
30. L'impiego di catalizzatori come riportato nella rivendicazioni N. 3,4,5,6,7 in fotoreattori per le reazioni suddette

DISEGNI

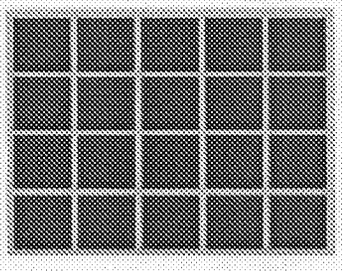


Figura 1.

IL RETTORE

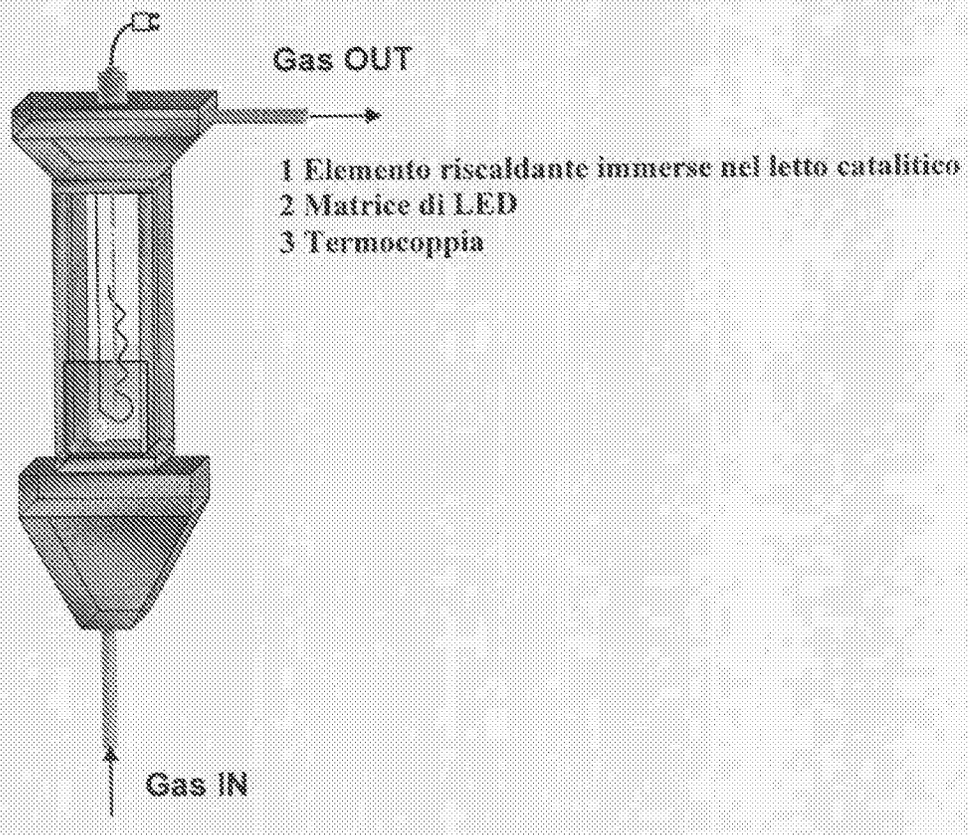
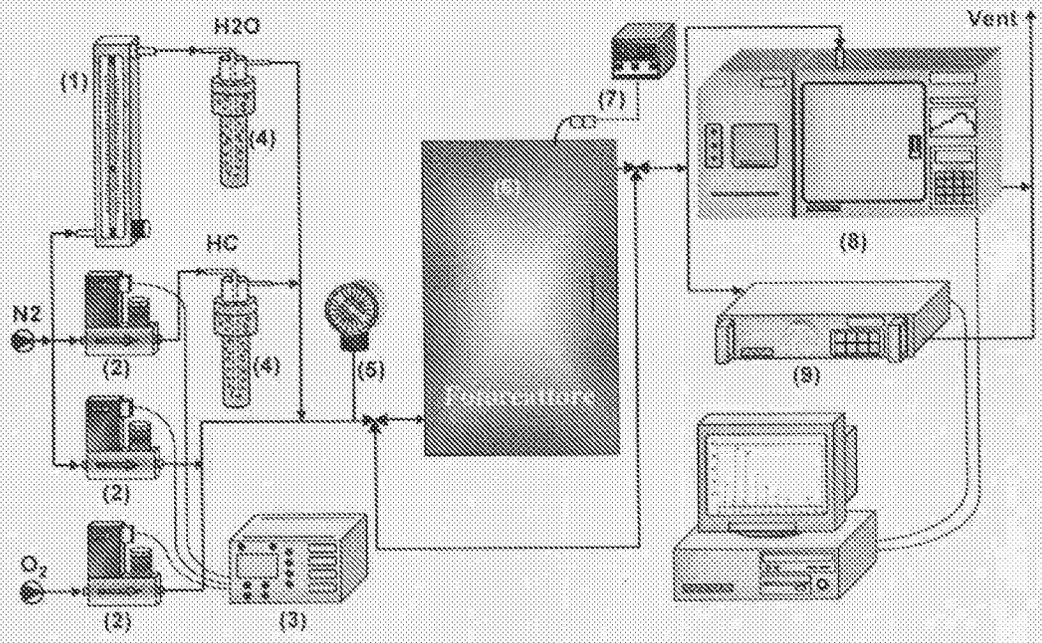

Gas OUT
1 Elemento riscaldante immerse nel letto catalitico
2 Matrice di LED
3 Termocoppia
Gas IN

Figura 2.



(1) rotametro; (2) controllori di flusso di massa; (3) unità di controllo; (4) saturatori per idrocarburi e acqua ; (5) manometro; (6) fotoreattore; (7) termocoppia; (8) GC-MS; (9) analizzatore CO-CO_2.

Figura 3.

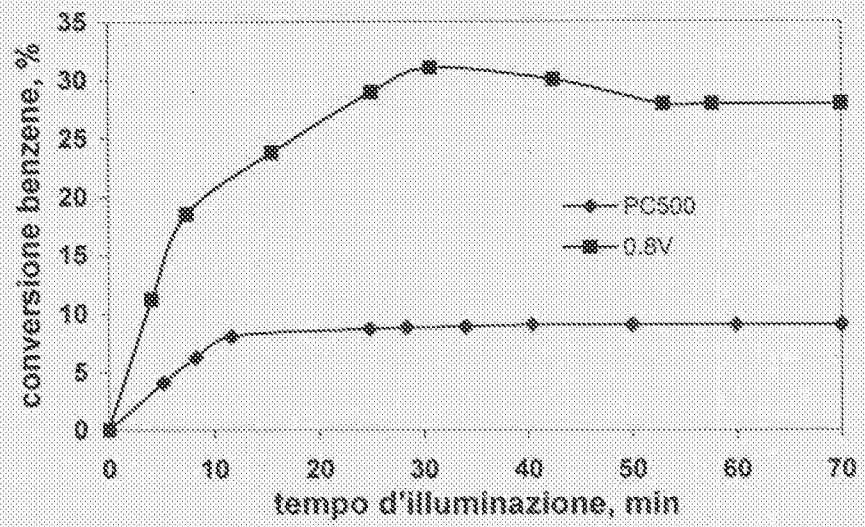


Figura 4.

IL RETTORE

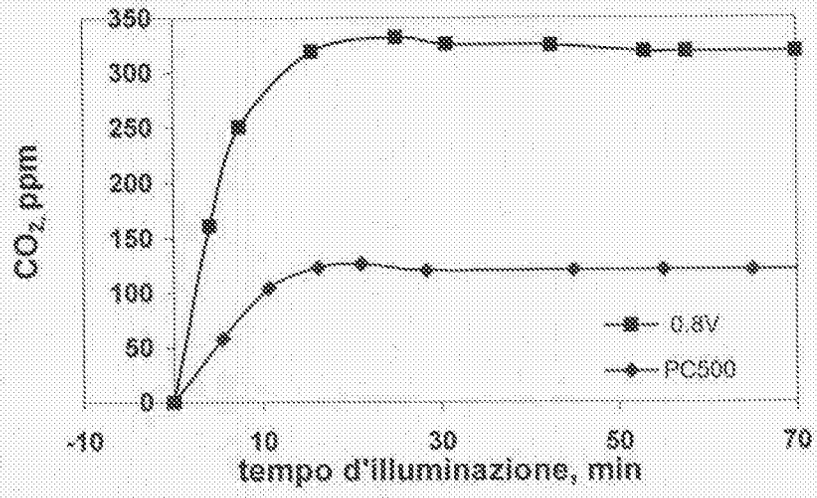

350
300
250
200
150
100
50
0
CO_2, ppm
-10
10
30
50
70
tempo d'illuminazione, min
0.8V
PC500

Figure 5.

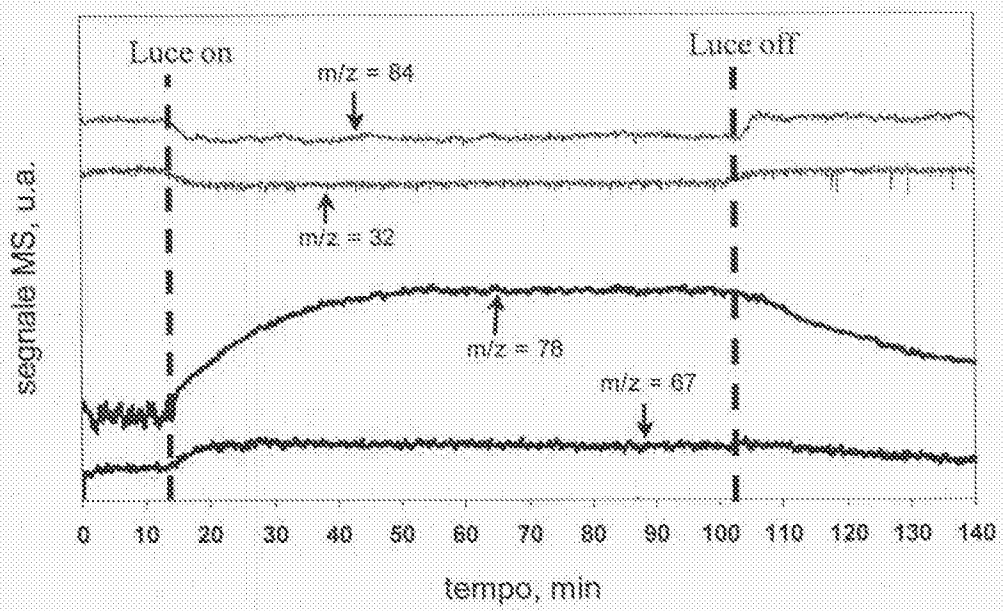


Figura 6

IL RETTORE

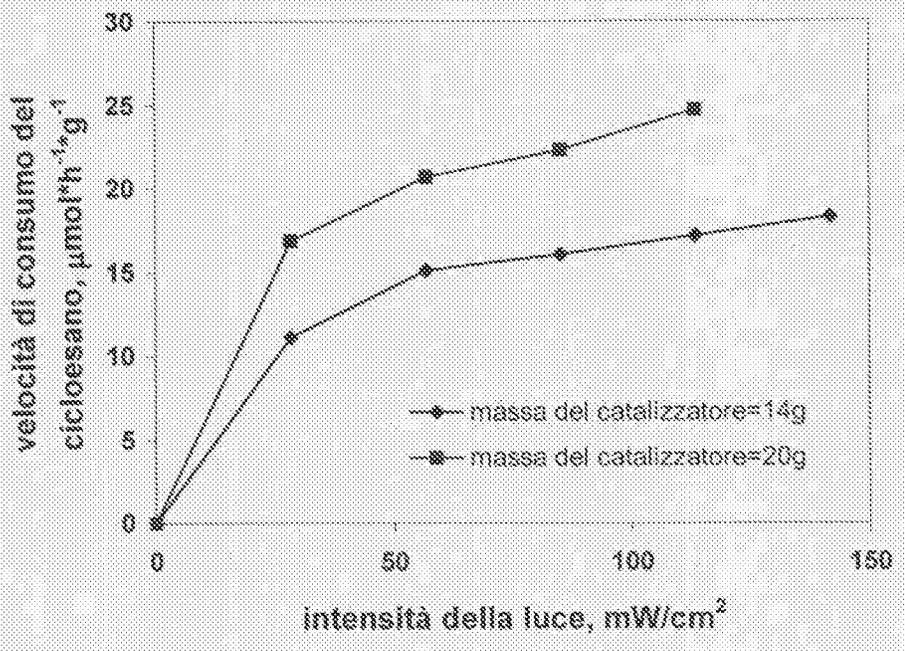

velocità di consumo del cicloesano, μmol*h-1*g-1
30
25
20
15
10
5
0
0
50
100
150
intensità della luce, mW/cm2
massa del catalizzatore=14g
massa del catalizzatore=20g

Figura 7

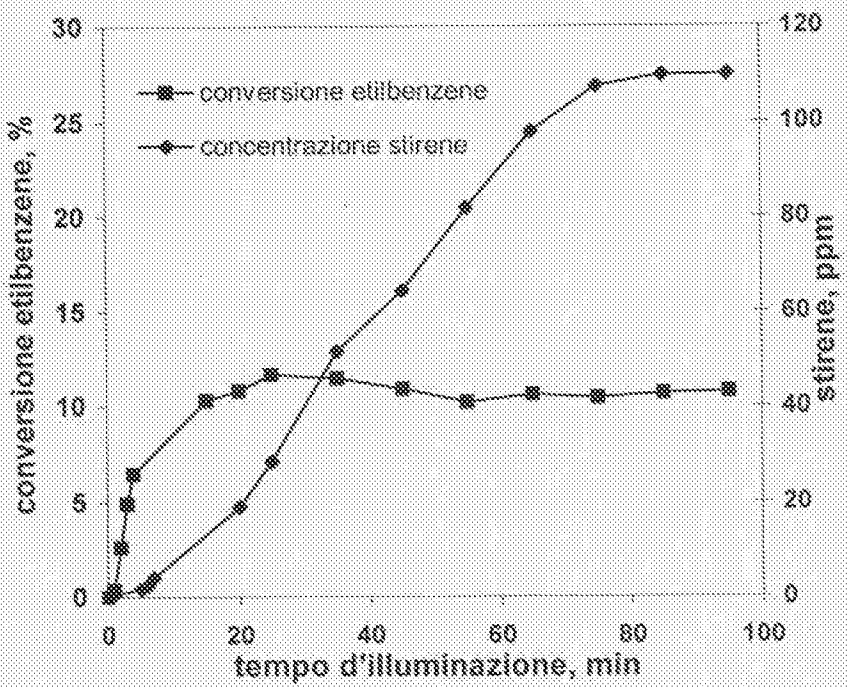

conversione etilbenzene
concentrazione stirene
conversione etilbenzene, %
stirene, ppm
tempo d'illuminazione, min
0
5
10
15
20
25
30
0
20
40
60
80
100
120
0
20
40
60
80
100

Figura 8

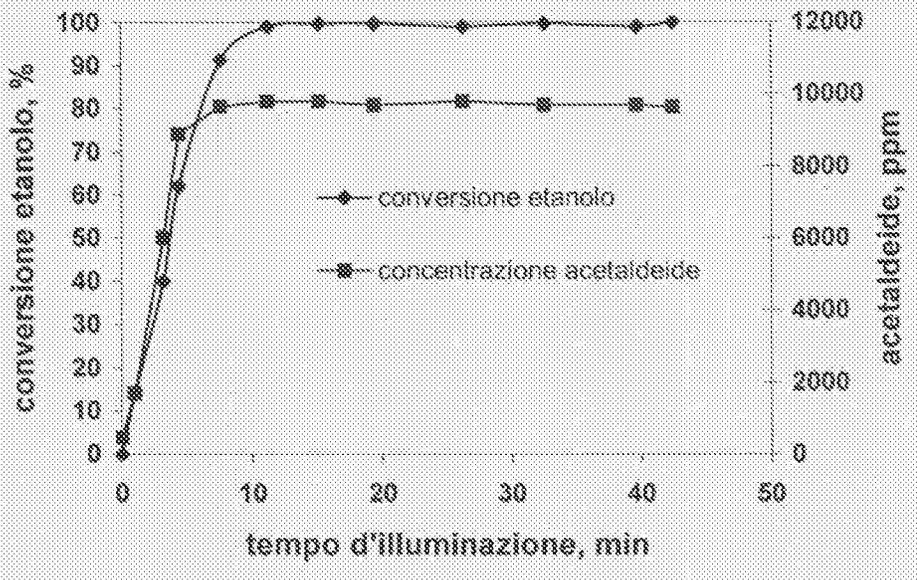

conversione etanolo, %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
acetaldeide, ppm
0
10
20
30
40
50
tempo d'illuminazione, min
conversione etanolo
concentrazione acetaldeide

Figura 9