

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000020472
Data Deposito	05/10/2022
Data Pubblicazione	05/04/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	01	D	53	62

Titolo

Procedimento e apparato per la cattura e l'immagazzinamento del carbonio della CO2 nella struttura dello Xerosidrile

Procedimento e apparato per la cattura e
l'immagazzinamento del carbonio della CO₂ nella
struttura dello Xerosidrile

A nome: Promete S.r.l.

Inventori: Vittorio Elia, Roberto Germano, Elena Napoli,
Francesco Paolo Tuccinardi

[0001] La presente invenzione riguarda un
procedimento per la cattura e l'immagazzinamento del
carbonio della CO₂ nella struttura dello Xerosidrile.

Stato della tecnica

[0002] Al giorno d'oggi esistono diverse tecniche di
cattura della CO₂ atmosferica che si basano ad esempio
sull'utilizzo di membrane assorbenti o sfruttando
particolari reazioni chimiche.

[0003] Il metodo più noto è quello di sfruttare le
proprietà acide dell'anidride carbonica facendola
reagire con una base. Ad esempio, le molecole di CO₂
reagiscono con idrossido di litio (LiOH) per formare il
relativo carbonato Li₂CO₃. In questo modo la CO₂ si fissa
chimicamente producendo un sale solido che rimane
intrappolato nel filtro. Un successivo trattamento
termico permette di liberarla.

[0004] Lo stesso meccanismo di reazione è stato
sfruttato nei sistemi di filtraggio degli space shuttle
ed è ancora in uso nelle cosmonavi russe Soyuz,
utilizzando rispettivamente ossidi metallici e idrossido
di potassio (KOH). Partendo da queste conoscenze già

ampiamente note, oggi numerosi centri di ricerca stanno studiando come diminuire la quantità di anidride carbonica presente in atmosfera. I metodi principali si possono suddividere in due grandi classi: quella dell'assorbimento fisico che prevede il temporaneo intrappolamento delle molecole di CO_2 all'interno di strutture porose come zeoliti, carboni attivi o microscopiche spugne metallo-organiche, e dell'assorbimento chimico per cui la CO_2 forma dei veri e propri legami con un apposito substrato. In entrambi i casi l'anidride carbonica può essere recuperata in maniera concentrata tramite trattamento termico ripristinando così la matrice attiva per un altro ciclo di cattura.

[0005] Il problema della cattura della CO_2 è paradossalmente il fatto che essa è estremamente diluita nell'aria: 400 parti per milione significa che solo lo 0,04% dell'aria è costituita da anidride carbonica. In realtà, se la sua concentrazione in aria superasse lo 0,2% si avrebbero problemi respiratori. Se da una parte quindi questa bassa concentrazione attuale ci rassicura, essa è il principale ostacolo alla cattura diretta della CO_2 dall'aria. Infatti, per fare passare un litro di CO_2 attraverso i nostri filtri, chimici o fisici, dobbiamo farli attraversare da 2500 litri di aria. Per questo motivo non è stato ancora costruito alcun vero impianto industriale, ma la ricerca è ancora ferma a esperimenti di laboratorio o su piccolissima scala. Nel 2011, uno studio della American Physical Society ha stimato in una media di 530 € il costo per rimuovere una sola tonnellata

di CO₂ dall'aria. I progetti attualmente in fase di valutazione stimano che questi costi siano inizialmente di 900 € con la speranza che si assestino sui 90€, sempre per tonnellata di anidride carbonica catturata. Costi che non sono competitivi con quelli necessari per catturare la CO₂ direttamente dai camini e dai tubi di scappamento, dove questa è del 15% circa. Una volta catturata la CO₂, lo stoccaggio avviene depositando il gas in appositi siti geologici sotterranei o intrappolando la molecola all'interno della struttura cristallina di alcuni minerali. Tuttavia queste tecniche sono affette da numerosi problemi e non esiste al momento un procedimento che sia allo stesso tempo efficace e conveniente dal punto di vista economico. Infatti, le attuali tecnologie richiedono un notevole apporto di energia per la cattura della CO₂ e, se non alimentate tramite fonti rinnovabili, immettono nell'ambiente un quantitativo di CO₂ maggiore di quella catturata. Inoltre, le moderne tecniche di cattura producono sostanze inquinanti, difficilmente smaltibili e hanno un impatto ambientale non trascurabile.

[0006] Perciò, è sentita la necessità di trovare un procedimento per la cattura della CO₂ economico, energeticamente efficiente e a basso o nessun impatto ambientale.

Scopo e oggetto dell'invenzione

[0007] Scopo della presente invenzione è quello di fornire un procedimento ed un apparato per la cattura e l'immagazzinamento del carbonio della CO₂ che risolva in

tutto o in parte i problemi della tecnica nota e ne superi gli svantaggi.

[0008] È oggetto della presente invenzione un procedimento ed un apparato secondo le allegate rivendicazioni.

Descrizione dettagliata di esempi di realizzazione dell'invenzione

Lista delle figure

[0009] L'invenzione verrà ora descritta a titolo illustrativo ma non limitativo, con particolare riferimento ai disegni delle figure allegate, in cui:

- la Fig. 1 mostra in (a) e in (b) residui solidi di Xerosidrile, che è una nuova classe di materiali identificata e recentemente battezzata in pubblicazioni internazionali (Xerosydrile, in inglese, cfr. [13]), ottenuti dalla liofilizzazione di acqua iterativamente trattata con due diverse modalità e in (c) e (d) delle forme irregolari di strutture osservate in fase liquida in acqua iterativamente trattata, secondo la tecnica nota;
- la Fig. 2 mostra una termogravimetria di una tipologia di Xerosidrile, secondo la tecnica nota;
- la Fig. 3 mostra in (a), (b), (c) immagini del materiale solido Xerosidrile a tre diverse scale dimensionali e in (d) e (e) immagini del materiale dello Xerosidrile ottenute con microscopia a scansione elettronica, secondo la tecnica nota;
- la Fig. 4 mostra una spettrometria di massa del

solido dello Xerosidrile, secondo la tecnica nota (dove INW sta per "Iteratively Nafionated Water" e R_{INW} sta per la tipologia di Xerosidrile da esso derivante), da cui si evince come la quantità di Carbonio possa tendere a zero in alcune tipologie di questa classe di materiali (Xerosidrile), mentre, come pubblicato in numerosi articoli, può essere anche abbondante fin quasi al 60% in altre tipologie di Xerosidrile, a seconda dello specifico trattamento fisico dell'acqua, senza che l'origine sia stata identificata negli esperimenti;

- la Fig. 5 mostra un grafico riportante il Dicroismo Circolare (mdeg) tracciato in funzione della lunghezza d'onda in nm per un campione di acqua iterativamente trattata con conducibilità elettrica di $610 \mu\text{Scm}^{-1}$ a 20°C , e dopo essere stata riscaldata a 90°C in un forno per tre giorni, secondo la tecnica nota;
- la Fig. 6 mostra gli spettri di fluorescenza (UV-visibile) che normalmente è tipica dei composti organici, di un campione di acqua iterativamente trattata, a varie diluizioni, secondo la tecnica nota;
- la Fig. 7 mostra una retta di taratura dello Xerosidrile: massa solido (espressa in mg) vs $V \cdot \chi$, dove V è il volume (espresso in litri) e χ è la conducibilità elettrica del liquido (microSiemens/cm), ottenuta per uno specifico materiale idrofilico di origine naturale, secondo l'invenzione;

- la Fig. 8 mostra un grafico della conducibilità elettrica (espressa in microSiemens/cm) in funzione delle varie fasi di preparazione dello Xerosidrile caricato in CO₂ (misure effettuate 1 - 16), secondo l'invenzione, in cui è evidente il notevole incremento della massa di Xerosidrile prodotto a parità di procedura e iterazioni (tempo) alla luce della retta di taratura precedente (Fig.7);
- la Fig. 9 mostra uno schema di un esempio specifico di apparato realizzante il procedimento secondo l'invenzione;
- la Fig. 10 mostra un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂, secondo l'invenzione;
- la Fig. 11 mostra un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un differente esperimento, secondo l'invenzione;
- la Fig. 12 mostra in (a) un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un terzo esperimento e in (b) l'andamento del delta di conducibilità nello stesso esperimento, secondo l'invenzione;
- la Fig. 13 mostra in (a) un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un quarto esperimento e

- in (b) l'andamento del delta di conducibilità nello stesso esperimento, secondo l'invenzione;
- la Fig. 14 mostra un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un quinto esperimento, secondo l'invenzione;
 - la Fig. 15 mostra in (a) un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un sesto esperimento e in (b) l'andamento del delta di conducibilità nello stesso esperimento, secondo l'invenzione;
 - la Fig. 16 mostra in (a) un grafico della conducibilità elettrica dell'acqua iterativamente trattata in funzione del numero di iterazioni con e senza aggiunta di CO₂ in un settimo esperimento e in (b) l'andamento del delta di conducibilità nello stesso esperimento, secondo l'invenzione; e
 - la Fig. 17 mostra le percentuali di componenti dello Xerosidrile in un caso sperimentale [10].

[0010] Si specifica qui che elementi di forme di realizzazione differenti possono essere combinati insieme per fornire ulteriori forme di realizzazione senza limiti rispettando il concetto tecnico dell'invenzione, come il tecnico medio del ramo intende senza problemi da quanto descritto.

[0011] La presente descrizione inoltre fa riferimento alla tecnica nota per la sua implementazione, riguardo alle caratteristiche di

dettaglio non descritte, come ad esempio elementi di minore importanza usualmente utilizzati nella tecnica nota in soluzioni dello stesso tipo.

[0012] Quando si introduce un elemento si intende sempre che può essere "almeno uno" o "uno o più".

[0013] Quando si elenca una lista di elementi o di caratteristiche in questa descrizione si intende che il trovato secondo l'invenzione "comprende" oppure alternativamente "è composto di" tali elementi.

Forme di realizzazione

[0014] È nota la classe di materiali che va sotto il nome di Xerosidrile. Tale classe di materiali è stata recentemente individuata, prodotta e parzialmente caratterizzata dagli Inventori nelle pubblicazioni internazionali citate nel seguito ([1-13]), e deriva dalla generazione di nanoparticelle solide auto-aggregantesi costituite da Idrogeno e Ossigeno, ottenute a partire da acqua liquida pura, opportunamente trattata mediante metodi esclusivamente fisici.

[0015] Lo Xerosidrile può essere prodotto secondo la seguente procedura, che deve essere ripetuta una pluralità di volte per ottenere lo Xerosidrile:

- 1) porre dell'acqua in un recipiente, l'acqua potendo essere normale, distillata o bidistillata (ad esempio acqua milli-Q, conduttività = circa 2 - 4 microSiemens/cm);
- 2) immergere un materiale con una superficie idrofilica, preferibilmente insolubile, all'interno dell'acqua (la massa dello Xerosidrile

ottenuto sarà direttamente proporzionale al rapporto superficie idrofilica/volume acqua);

- 3) muovere la superficie idrofilica rispetto all'acqua;
- 4) opzionalmente ai fini di un controllo, misurare la conducibilità elettrica dell'acqua, che tenderà via via ad aumentare (malgrado il materiale idrofilico sia quasi sempre insolubile, come da letteratura citata);
- 5) ripetere le fasi da 2 a 4, opzionalmente fino a che la misura della conducibilità elettrica mostri che essa stia raggiungendo la saturazione (l'avvicinamento alla saturazione essendo visto sulla base dell'andamento della stessa conducibilità), cioè non aumenti più sensibilmente con la procedura da 1 a 3 (in questo caso neanche la massa dello Xerosidrile prodotto aumenterà);
- 6) opzionalmente, per far aumentare ulteriormente la massa dello Xerosidrile, far asciugare la superficie idrofilica;
- 7) ripetere le fasi da 2 a 6, fino a che la conducibilità elettrica dell'acqua così trattata non sia salita ai valori voluti (da circa 100 microSiemens/cm fino anche a migliaia di microSiemens/cm), l'effetto essendo direttamente proporzionale al rapporto superficie idrofilica/volume acqua; e
- 8) liofilizzare o far evaporare l'acqua (o rimuovere l'acqua in eccesso rispetto al materiale precipitato) così trattata per estrarre il solido

residuo: lo Xerosidrile.

[0016] Nella fase 2, come materiale con una superficie idrofilica insolubile può essere utilizzata una qualsiasi superficie idrofilica, anche metallica; naturalmente se la superficie è insolubile il fenomeno è meglio distinguibile da altri fenomeni, ma non si esclude nessun tipo di superficie. Alcuni tra i sistemi idrofilici testati sono: NAFION®, cellulosa e derivati (Cotone idrofilo, cellofan, carta da filtro da laboratorio, ...), seta cruda, canapa, lana vergine di pecora, mattoni refrattari e tufo. Si tenga presente che anche l'interfaccia acqua-aria ha caratteristiche del tutto analoghe all'interfaccia acqua-materiale idrofilico.

[0017] Le basi teoriche che descrivono la generazione della classe dei materiali dello Xerosidrile si fondano nel campo della Meccanica Quantistica (QM), in particolare dell'elettrodinamica quantistica (QED, Quantum ElectroDynamics) applicata alla materia condensata. Tali basi teoriche sono spiegate nella letteratura citata in bibliografia.

[0018] Qui si menzione solamente che il fatto che l'acqua liquida abbia una dinamica interna (struttura bifasica), fa sì che alcune tipologie di perturbazioni puramente fisiche possano mutarne notevolmente le proprietà chimico-fisiche, generando degli aggregati nanometrici stabili di H_2O , che poi si aggregano ulteriormente fra di loro (strutture dissipative). Inoltre, se si fa evaporare, o si liofilizza quest'acqua pura perturbata fisicamente, rimane un solido stabile a

temperatura e pressione ambientale. Ricordiamo che "struttura dissipativa" è un termine coniato dal premio Nobel per la chimica Ilya Prigogine, che sta a indicare un sistema che scambia con l'ambiente energia, materia e/o entropia, e che quindi è in uno stato lontano dall'equilibrio termodinamico. I sistemi dissipativi sono caratterizzati dalla formazione spontanea di strutture ordinate e complesse.

[0019] Viene così spiegata la formazione dello Xerosidrile: modifiche locali nell'organizzazione dell'acqua allo stato liquido possono essere raggiunte attraverso molti tipi di stimoli fisici a bassa energia, e che queste alterazioni possono anche diventare "fisse", grazie alla spontanea organizzazione sovramolecolare, a formare strutture dissipative "permanenti" (ma che ovviamente si evolvono nel tempo con il flusso di energia e il contesto ambientale) in acqua liquida.

[0020] Queste strutture dissipative sono così persistenti da sopravvivere anche all'essiccazione o alla liofilizzazione. Infatti, dopo la rimozione dell'acqua "normale", avviene la condensazione in quantità facilmente misurabili (dell'ordine di 5-6 g per litro di acqua pura) di strutture solide (che appaiono evidentemente frattali), con ciascun nucleo di dimensioni nanometriche, a pressione atmosferica e temperatura ambiente, che sono abbondanti e molto evidenti (cfr. Fig. 1).

[0021] Questa scoperta è ulteriormente rafforzata dai lavori del Prof. Gerald Pollack e del suo gruppo di

ricerca negli USA che, utilizzando microsfeere e coloranti come sonde, hanno mostrato che, sulle superfici idrofiliche, appare uno strato ben "distinto" di acqua, che misura fino a mezzo millimetro di spessore. Questo strato è stato chiamato "zona di esclusione" (Exclusion Zone, EZ) in quanto né microsferette, né coloranti, né altri soluti possono penetrarvi; tale strato risultata inoltre essere più viscoso del resto dell'acqua (bulk).

[0022] Le diverse tipologie di "acqua fisicamente perturbata" sono state studiate effettuando una serie di misure strutturali (analisi FT-IR o spettroscopia nell'infrarosso, dispersione della luce, spettroscopia UV-Visibile, microscopia a fluorescenza, AFM - microscopia a forza atomica). Studi sperimentali pubblicati già diversi anni fa avevano già esaminato in profondità la determinazione dei parametri chimico-fisici di questi campioni di "acqua perturbata": conducibilità elettrica; calore di mescolamento con acido o con soluzioni basiche, e pH. È importante sottolineare che la conducibilità elettrica può aumentare anche più di 1000 volte. Il pH dell'acqua preparato con certi protocolli è alcalino, mentre con altri è acido; inoltre, il pH mostra una buona correlazione lineare con il logaritmo della conducibilità elettrica e può variare anche di 3 punti, e ciò corrisponderebbe a variazioni di mille volte della concentrazione di H⁺.

[0023] È particolarmente rilevante che differenti protocolli di perturbazione inducano alterazioni

dell'acqua liquida che sono distinte, ma condividono l'elemento comune di una variazione nella struttura sovramolecolare dell'acqua. Inoltre, è stata osservata la presenza in fase liquida di dicroismo circolare, segno di presenza di macromolecole, e fluorescenza nell'ultravioletto, segno a sua volta di transizioni elettroniche $n \rightarrow \pi^*$, di per sé fenomeni del tutto impossibili in acqua pura, malgrado l'assenza di sostanze organiche disciolte, come evidenziato dalle misure effettuate e pubblicate.

[0024] Questi fenomeni trovano una solida base teorica nell'ipotesi di lavoro della formazione di strutture dissipative (nanostrutture) di acqua all'interno dell'acqua liquida. Le perturbazioni di bassa energia applicate possono far sì che il sistema evolva verso una nuova condizione che non è in equilibrio. Dopo l'essiccazione o la liofilizzazione, queste strutture, che esistono in uno stato lontano dall'equilibrio in acqua liquida, possono invece evolvere in un'altamente stabile struttura amorfa di tipo frattale, che è appunto stabile allo stato solido a pressione e temperatura ambiente. Inoltre, come evidenziato dalle misure termogravimetriche, il solido presenta un'elevata stabilità in temperatura, tanto che una frazione di esso (10-30%) è ancora stabile fino a temperature di circa 1000 °C.

[0025]

[0026] Gli Inventori, negli studi citati [1-13] hanno tuttavia osservato delle anomalie, ovvero dei

fenomeni che le citate spiegazioni teoriche non includevano.

[0027] In particolare, durante le prove per la validazione delle scoperte, si è trovato che lo Xerosidrile conteneva percentuali variabili di carbonio, senza correlazione con i parametri presi in considerazione dalle teorie fisiche utilizzate (cfr. ad esempio [10], Fig.17, dove si rileva il 51,1% di Carbonio nel caso dell'utilizzo della carta da filtro (Paper Filter - PF) come metodo per ottenere lo Xerosidrile corrispondente (R_{IPW-PF}); si noti tra l'altro che la PF ha una % di C di 11,3%, ossia di molto inferiore. Nella figura 4, ad esempio, si nota la presenza di CO_2 non scissa in tracce (circa 0,1 parti su un milione) ed una non rilevata presenza neanche in tracce di Carbonio isolato, ma invece in altre realizzazioni la presenza di Carbonio è risultata molto significativa, fino a circa il 60%.

[0028] Gli Inventori hanno quindi voluto comprendere l'origine di tale componente.

[0029] Si è predisposto quindi un set up sperimentale consistente in 2 identici sistemi per la preparazione dello Xerosidrile da una fibra idrofilica naturale. Si sono dunque eseguite in parallelo le identiche metodiche di preparazione, ma in un caso si è fatta gorgogliare CO_2 nel sistema da una bombola, durante le fasi di preparazione, e nell'altra no.

[0030] Gli inventori hanno così ottenuto andamenti come quello della Fig. 8 secondo l'invenzione dove è chiara la differenza tra i due casi, con un effetto

qualitativamente e quantitativamente inatteso e sorprendente. Per meglio caratterizzare questo effetto inatteso si è ottenuta una retta di taratura per la fase 2) di produzione dello Xerosidrile sopra illustrata, riportata in Fig. 7 (la sola taratura è di per sé nota, si vedano anche altre rette di taratura nella pubblicazione [13]). Secondo i valori sperimentali il rapporto superficie idrofilica/volume acqua è indicativamente 10-50 g di prodotto con 1 litro di acqua, mostrando un andamento decisamente lineare. In tal modo, è immediato capire che la semplice misura della conducibilità elettrica del sistema liquido, contenente lo Xerosidrile via via in formazione, permette la misura della massa di Xerosidrile presente via via in acqua.

[0031] Del resto le componenti degli esperimenti sono ben note, e avendo escluso i materiali idrofilici, il carbonio presente può provenire soltanto dalla CO₂ atmosferica, evidentemente grazie ad una sorta di catalisi svolta dalle nanoparticelle sopra menzionate, che in determinati casi (struttura elettronica opportuna, funzione della dimensione della nanoparticella ottenuta) hanno l'effetto di catalizzare la scomposizione della CO₂ atmosferica, e catturarne il Carbonio, fino ad incorporarlo nella struttura dello Xerosidrile: una sorta di proto-fotosintesi.

[0032] Ciò è stato evidenziato attraverso varie misure effettuate, dalla analisi elementari alle termogravimetrie, ed il contenuto di Carbonio presente, a seconda della metodica utilizzata, varia da pochi punti

percentuali fino a circa il 60% in massa del solido ottenuto.

[0033] Secondo un aspetto dell'invenzione, è quindi fornita una procedura per l'immagazzinamento del carbonio della CO₂ nella struttura dello Xerosidrile.

[0034] Il procedimento utilizzato comprende le seguenti fasi:

- 1) porre dell'acqua (qualsiasi, ad esempio bidistillata (acqua milli-Q, conduttività = circa 2 - 4 microSiemens/cm), o anche distillata normalmente o non distillata), in un recipiente chiuso (si sono usate acque distillate semplicemente per evitare interazioni con gli ioni ai fini della separazione degli effetti e quindi per la corretta interpretazione dei risultati dell'invenzione);
- 2) immergere un materiale con una superficie idrofilica insolubile all'interno dell'acqua;
- 3) la CO₂ (pura o in aria o in un gas) che si vuole immagazzinare viene fatta fluire nel volume del recipiente chiuso in cui si effettua l'operazione, vantaggiosamente facendola gorgogliare in acqua;
- 4) muovere la superficie idrofilica rispetto all'acqua;
- 5) ai fini di controllo, opzionalmente secondo l'invenzione, misurare la conducibilità elettrica dell'acqua, che tenderà via via ad aumentare (malgrado il materiale sia insolubile); e
- 6) ripetere le fasi da 2 a 5 (in maniera ottima ma non necessaria, fino a che la misura della

conducibilità mostri che essa stia raggiungendo la saturazione, cioè non aumenti più sensibilmente con la procedura da 1 a 4; ovviamente dopo saturazione non si avrà accrescimento di materiale).

[0035] Riguardo alla fase 6), occorre specificare che si può anche prevedere un nastro continuo a contatto con l'acqua (si veda sotto), nel qual caso non si ripetono le fasi ma si ha una interazione continua materiale idrofilico-acqua.

[0036] Si possono inoltre eseguire le seguenti fasi successivamente alla fase 6 sopra, ai fini di una maggior produzione del materiale:

- 7) far asciugare la superficie idrofilica;
- 8) ripetere le fasi da 2 a 7, opzionalmente fino a che la conducibilità elettrica dell'acqua così trattata non sia salita ai valori voluti (da circa 100 microSiemens/cm fino anche a migliaia di microSiemens/cm); e

infine, si esegue la seguente fase:

- 9) liofilizzare o far evaporare o altrimenti eliminare l'acqua così trattata per estrarre il solido residuo: lo Xerosidrile, che in questo caso sarà ricco di Carbonio.

[0037] Nella fase 9 il materiale può depositarsi per precipitazione (ad esempio in condizioni di sovrasaturazione); in questo caso il materiale può essere semplicemente rimosso dall'acqua (ovvero quest'ultima è "eliminata").

[0038] Riguardo alla fase 2 o 8, l'effetto sarà direttamente proporzionale al rapporto: superficie

idrofilica/volume acqua, ed indicativamente può andar bene 5-50 g di polimero con 1 litro di acqua (cfr. Retta di taratura: massa solido (mg) vs $V \cdot \chi$ ottenuta per uno specifico materiale idrofilico di origine naturale).

[0039] Nelle fasi 2 e 8, si può utilizzare una qualsiasi superficie idrofilica, anche metallica; naturalmente se la superficie è insolubile il fenomeno è ben distinguibile da altri fenomeni, ma non si esclude nessun tipo di superficie, anche solubile. I sistemi idrofilici testati sono stati, tra gli altri: NAFION®, Cellulosa e derivati (Cotone idrofilo, Cellofan, Carta da filtro da laboratorio, ...), seta cruda, canapa, lana vergine di pecora, mattoni refrattari, tufo. Si tenga presente che anche l'interfaccia acqua-aria ha caratteristiche del tutto analoghe all'interfaccia acqua-materiale idrofilico. Infatti si sono fatte delle prove con nanobolle di gas (ad esempio aria), che durano giorni e che diffondono rapidamente nel volume, che hanno evidenziato un fenomeno del tutto analogo di formazione di Xerosidrile carico di CO₂. Di conseguenza, l'uso di un materiale idrofilico è opzionale, essendo un caso particolare di mezzi di interfacciamento con l'acqua.

[0040] Quando lo Xerosidrile si forma nei mezzi di interfacciamento, è poi necessario portarlo in soluzione e per questo occorre trasferire energia allo stesso Xerosidrile. I mezzi/metodi di trasferimento di energia possono essere meccanici puri o utilizzare pompe in acqua (in cui i tubi formano i mezzi di interfacciamento e le onde l'energia trasmessa).

[0041] Si possono utilizzare anche nanobolle di gas, in cui le nanobolle formano i mezzi di interfacciamento e attraverso il loro moto sono anche mezzi di trasferimento di energia meccanica.

[0042] Le varie alternative di generazione dello Xerosidrile possono essere usate anche nello stesso procedimento, aumentando l'efficienza della produzione.

[0043] Il recipiente di cui sopra può essere chiuso o aperto. Nel caso sia chiuso, l'efficienza di cattura della CO₂ è maggiore.

[0044] Facendo riferimento alla Fig. 9, una semplice realizzazione della procedura iterativa in un apparato dedicato 100 consiste nell'utilizzo di rulli trasportatori 110 (con nastro 120) del polimero idrofilo 130 che si è scelto. Alcuni rulli 110 verranno immersi nell'IPW ("Iteratively Perturbed Water", livello tratteggiato al di sopra del contenitore 170) per la idratazione ed emergeranno per la fase di deidratazione seguita dal ritorno nel liquido. In 160 un ulteriore meccanismo rotativo recupera lo Xerosidrile carico in CO₂ così preparato. L'acqua può entrare in 150 ed esce in 140 per compensare l'acqua evaporata. In realtà si è visto che il polimero idrofilico può essere sostituito da pompe peristaltiche sopra menzionate, più in generale mezzi di trasferimento di energia meccanica all'acqua.

[0045] L'operazione lavora quindi in continuo. Semplici prove permettono in breve tempo di individuare le velocità più idonee dei rulli trasportatori anche in funzione delle condizioni ambientali. Una possibile semplificazione del sistema di rulli trasportatori

consiste nella loro realizzazione direttamente col materiale polimerico idrofili (ad esempio cotone). Naturalmente, se il polimero idrofilo, per esempio carta, non avesse le proprietà meccaniche per costituire il rullo trasportatore, esso potrà essere racchiuso in contenitori di materiali polimerici idrofili, ad esempio cotone.

[0046] La formazione dello Xerosidrile è resa più efficace con irraggiamento elettromagnetico (visibile o infrarosso) dell'acqua di processo, e questo si è inaspettatamente trovato essere in correlazione con la cattura della CO₂. Le radiazioni possono essere anche quelle infrarosse dei macchinari utilizzati per il processo. Le acque perturbate IPWs possono avere la capacità di catturare la CO₂ dell'atmosfera trasformandola in polimeri organici di varia natura.

[0047] Sono stati sperimentati due polimeri idrofili naturali di origine vegetale cotone idrofilo ed animale seta. Sperimentalmente la seta si è dimostrata più efficace rispetto al cotone come è facile verificare dall'analisi elementare dei due liquidi perturbati che mostrano contenuti di carbonio organico nettamente diversi, come mostrato nei grafici delle Fig. 10-16, di seguito commentati.

[0048] Nei grafici è mostrato il valore della conducibilità elettrica al variare del numero di iterazioni per due sistemi gemelli per quanto riguarda le quantità di polimero perturbatore dell'acqua utilizzata e del numero delle perturbazioni. La curva superiore nei grafici riguarda il sistema arricchito con

l'anidride carbonica e quella inferiore quello operante senza l'aggiunta del gas.

[0049] In un primo esperimento utilizzando il polimero della seta si sono ottenuti i seguenti dati riportati nella tabella 1. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500 mL - $\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	11	11	0
1	172	20	152
2	192	28	164

Tabella 1

[0050] In un secondo esperimento utilizzando il polimero della seta si sono ottenuti i dati riportati in tabella 2. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500 mL - $\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)

0	12	4	4
1	127	14	37
2	132	21	47
3	152	26	46
4	159	42	77
5	176	48	84
6	164	72	92

Tabella 2

[0051] In un terzo esperimento utilizzando il polimero della seta si sono ottenuti i dati riportati in tabella 3. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500 mL - $\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	30	15	15
1	104	30	74
2	121	44	77
3	130	52	78
4	138	51	87
5	172	63	109
6	193	71	122
7	211	80	131
8	219	87	132

9	244	97	147
10	246	102	144
11	330	165	165
12	370	168	202
13			0

Tabella 3

[0052] In un quarto esperimento utilizzando il polimero della seta si sono ottenuti i dati riportati in tabella 4. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

1° Exp Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500mL Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	2° Exp con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500 mL senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	2° Exp con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	1000 mL senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	11	12	12	30	15
1	172	127	22	104	30
2	192	132	26	121	44
3		152	34	130	52
4		159	39	138	51
5		176	56	172	63
6		164	72	193	71
7				211	80
8				219	87

9				244	97
10				246	102
11				330	165

Tabella 4

[0053] In un quinto esperimento utilizzando il polimero del cotone idrofilo si sono ottenuti i dati riportati in tabella 5. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	500 mL - $\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	5	5	0
1	63	18	45
2	78	26	52
3	94	43	51
4	138	72	66

Tabella 5

[0054] In un sesto esperimento utilizzando il polimero del cotone idrofilo si sono ottenuti i dati riportati in tabella 6 (1000 mL di soluzione). Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è

di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	$\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	8	4	4
1	51	14	37
2	68	21	47
3	72	26	46
4	119	42	77
5	132	48	84

Tabella 6

[0055] In un settimo esperimento utilizzando il polimero del cotone idrofilo si sono ottenuti i dati riportati in tabella 7. Come si vede, nel caso di presenza di CO₂, a parità di processo e di numero di iterazioni, la quantità di Xerosidrile è di molto superiore (essendo proporzionale al valore della conducibilità misurata, secondo una curva di taratura del tipo di Fig. 7).

N°	Con CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	Senza CO ₂ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)	1000mL $\Delta\chi$ ($\chi/\mu\text{S cm}^{-1}$)
0	7,5	6	2
1	10	9	1
2	47	11	36

3	54	14	40
4	67	18	49
5	79	22	57
6	89	26	63
7	112	34	78
8	133	40	93
9	194	77	117

Tabella 7

Risultati finali e vantaggi dell'invenzione

[0056] Gli esperimenti condotti dagli Inventori su diversi sistemi hanno mostrato che da circa 250 ml di acqua pura opportunamente trattata con metodi puramente fisici, ad esempio esposizione ripetuta a superfici fortemente idrofiliche come nella procedura sopra descritta, si può ottenere, dopo un limitato numero di iterazioni (almeno due iterazioni), qualche grammo di materiale solido (Xerosidrile), il che, in scala, corrisponde a circa 4-6 kg per mc di acqua.

[0057] Si è visto che ad esempio utilizzando alcuni materiali idrofilici, si possono ottenere percentuali di carbonio anche del 60% circa della massa totale di xerosidrile ottenuto. Ciò corrisponde alla cattura (in forma solida) stabile in un materiale con caratteristiche "naturali" circa 2,3 kg di Carbonio (da CO₂) per mc di acqua. Dunque, poiché ogni mole di CO₂ (di massa 44 g) contiene 12 g di C, ciò significa che "catturando" 2,3 kg di Carbonio per ogni mc di acqua

"trattata", si sono "catturati" 8,43 kg di CO₂ per ogni mc di acqua trattata.

[0058] Allo stato attuale, si può realisticamente ipotizzare una realizzazione di un sistema in grado di produrre circa 15 kg/giorno di Xerosidrile con un ciclo della durata di circa 8 ore. Il consumo energetico complessivo teorico per fare evaporare e/o liofilizzare i circa 4 mc di acqua perturbata sarà di circa 1500 kWh termici che potrebbero essere ricavati da fonti completamente alternative (ad esempio: solare termico). Bisogna però anche considerare il consumo energetico per la movimentazione del sistema per l'ottenimento dell'acqua modificata da far evaporare, probabilmente contenibile in pochi kWh. L'acqua evaporata potrebbe essere recuperata.

[0059] Poiché attualmente i costi di cattura della CO₂ si aggirano intorno ai 50 Euro/t CO₂, per avere costi comparabili, il sistema dell'invenzione su piccola scala, il quale andrebbe a catturare circa 1t ogni 30gg, non dovrebbe avere un consumo energetico superiore corrispondente ad un costo di 3,3 Euro al giorno, che (considerando un costo di 0,18 Euro per kWh) corrisponde a circa 9 kWh al giorno.

[0060] Poiché come detto nel nostro caso il sistema cattura la CO₂ stabilmente in un materiale, è evidente che risulterebbero pari a zero i costi di immagazzinamento, poiché lo Xerosidrile è utilizzabile in vario modo con valore commerciale, data la sua origine e struttura "naturale".

Bibliografia

- [01] V. Elia, G. Ausanio, A. De Ninno, F. Gentile, R. Germano, E. Napoli, M. Niccoli, Experimental evidence of stable aggregates of water at room temperature and normal pressure after iterative contact with Nafion polymer membrane, *WATER*, 5, 16-26 (2013)
- [02] V. Elia, G. Ausanio, A. De Ninno, F. Gentile, R. Germano, E. Napoli, M. Niccoli, Experimental Evidences of Stable Water Nanostructures At Standard Pressure And Temperature Obtained by Iterative Filtration, *WATER*, 5, 121-130 (2014)
- [03] V. Elia, R. Germano, E. Napoli, Permanent Dissipative Structures in Water: The Matrix of Life? Experimental Evidences and their Quantum Origin, *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 15, 6, 559-571 (2015)
- [04] R. Germano, Water's quantum structures and life, *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34, 2, 133-137 (2015)
- [05] T.A. Yinnon, V. Elia, E. Napoli, R. Germano, Z-Q Liu, Water ordering induced by interfaces: an experimental and theoretical study, *WATER*, 7, 96-128 (2016)
- [06] V. Elia, T.A. Yinnon, R. Oliva, E. Napoli, R. Germano, F. Bobba, A. Amoresano, Chiral micron-sized H₂O aggregates in water: Circular dichroism of supramolecular H₂O architectures created by perturbing pure water, *WATER*, 8, 1-29 (2017)
- [07] V. Elia, T.A. Yinnon, R. Oliva, E. Napoli, R. Germano, F. Bobba, A. Amoresano, DNA and the chiral water

superstructure, *Journal of Molecular Liquids*, 248, 1028-1029 (2017)

[08] V. Elia, R. Oliva, E. Napoli, R. Germano, G. Pinto, L. Lista, M. Niccoli, D. Toso, G. Vitiello, M. Trifuoggi, A. Giarra, T. A. Yinnon, Experimental study of physicochemical changes in water by iterative contact with hydrophilic polymers: A comparison between Cellulose and Nafion, *Journal of Molecular Liquids*, 268, 598-609 (2018)

[09] P. Signanini, G. Vessia, V. Elia, E. Napoli, R. Germano, A study on the changes in physical properties of demineralized water put in contact with porous hydrophilic materials: experimental evidences on metabrick material, *Journal of Porous Media*, 22 (12), 1609-1625 (2019)

[10] V. Elia, E. Napoli, R. Germano, R. Oliva, V. Roviello, M. Niccoli, A. Amoresano, D. Naviglio, M. Ciaravolo, M. Trifuoggi, T. A. Yinnon, New chemical-physical properties of water after iterative procedure using hydrophilic polymers: the case of paper filter, *Journal of Molecular Liquids*, 296, 111808 (2019)

[11] V. Elia, E. Napoli, R. Germano, V. Roviello, R. Oliva, M. Niccoli, A. Amoresano, M. Toscanesi, M. Trifuoggi, A. Fabozzi, T. A. Yinnon, Water perturbed by Cellophane: Comparison of its physicochemical properties with those of water perturbed with cotton wool or Nafion, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10185-0> (2020)

[12] V. Elia, E. Napoli, R. Germano, D. Naviglio, M. Ciaravolo, G. Dal Poggetto, D. Caputo, R. Oliva,

T.A.Yinnon, A study on the changes in physical properties of distilled water put in contact with porous hydrophilic materials: experimental evidences on Neapolitan Yellow Tuff, WATER, 12, 119-129 (2022) DOI:10.14294/WATER.2022.1

[13] V. Elia, E. Napoli, R. Germano, D. Naviglio, M. Ciaravolo, G. Dal Poggetto, D. Caputo, R. Oliva, T. A. Yinnon, New physicochemical properties of liquid water resulting from recurrent contact with hydrophilic polymers. Characteristics of the resulting supramolecular aggregates: the Xerosydrile, WATER, 12, 72-85 (2022) DOI: 10.14294/WATER.2021.2

[0061] In quel che precede sono state descritte le preferite forme di realizzazione e sono state suggerite delle varianti della presente invenzione, ma è da intendersi che gli esperti del ramo potranno apportare modificazioni e cambiamenti senza con ciò uscire dal relativo ambito di protezione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per l'estrazione e l'immagazzinamento di CO₂, contenuta in un gas, nello Xerosidrile, il procedimento comprendendo le seguenti fasi:

- A. porre una predeterminata quantità di acqua in un recipiente;
- B. far fluire il gas a contatto con detta predeterminata quantità di acqua;
- C. immergere mezzi di interfacciamento con l'acqua in detta predeterminata quantità di acqua;
- D. trasferire energia meccanica all'acqua muovendo i mezzi di interfacciamento e/o immettendo onde meccaniche in detta predeterminata quantità d'acqua;
e
- E. estrarre lo Xerosidrile alternativamente:
 - liofilizzando o facendo evaporare detta predeterminata quantità di acqua; oppure
 - raccogliendo lo Xerosidrile precipitato e successivamente liofilizzando o facendo evaporare l'acqua contenuta nello Xerosidrile precipitato.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui nella fase B il gas è fatto gorgogliare in acqua.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la fase C è realizzata immergendo un materiale con una superficie idrofilica insolubile all'interno di detta predeterminata quantità d'acqua e la fase D muovendo la superficie idrofilica rispetto all'acqua.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in cui dopo la fase D e prima della fase E è prevista una fase F dove si fa asciugare la superficie idrofilica prima di ricominciare dalla fase D almeno una volta.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui le fasi C e D sono realizzate tramite l'immersione e l'attivazione di una o più pompe peristaltiche.

6. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui la fase C è effettuata mentre si misura la conducibilità elettrica dell'acqua e fino a che la conducibilità elettrica dell'acqua non abbia raggiunto un valore predeterminato, minore o uguale al valore di saturazione.

7. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui l'acqua della fase A è bidistillata.

8. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 7, in cui detta interfaccia gas-acqua è costituita da nanobolle di gas.

9. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui detto gas è aria.

10. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui detto recipiente è

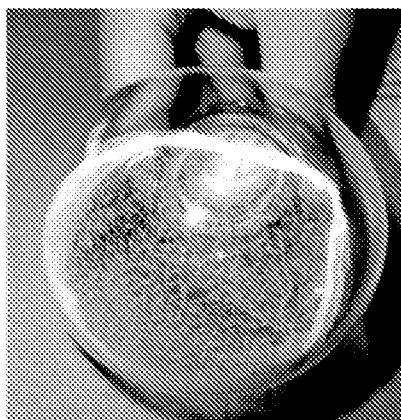
chiuso.

11. Apparato per l'estrazione e l'immagazzinamento di CO₂, contenuta in un gas, nello Xerosidrile, comprendente:

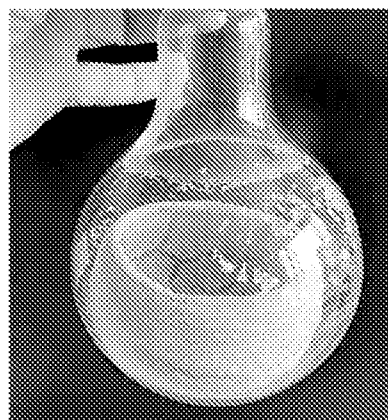
- Un contenitore di acqua (170);
- Un nastro trasportatore (120) di un materiale idrofilico insolubile all'interno di detto contenitore di acqua (170);
- Una serie di rulli (110) per la movimentazione in continuo in ciclo chiuso di detto nastro trasportatore (120);
- Mezzi di immissione di detto gas in detto contenitore d'acqua (170) in condizioni tali da produrre Xerosidrile precipitato;

in cui detto apparato è configurato per realizzare le fasi del procedimento definito nelle rivendicazioni 3, 4, ed in cui è presente

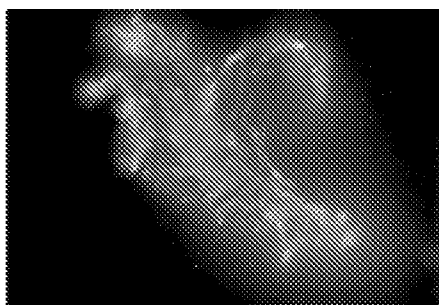
- Un meccanismo rotativo (160) configurato per pescare nell'acqua di detto contenitore (170) e recuperare lo Xerosidrile precipitato.



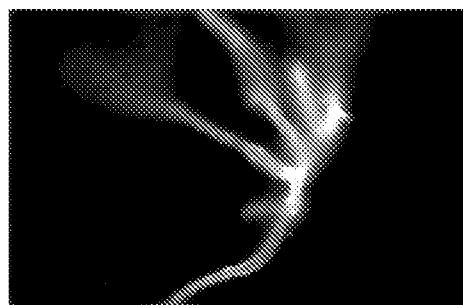
(a)



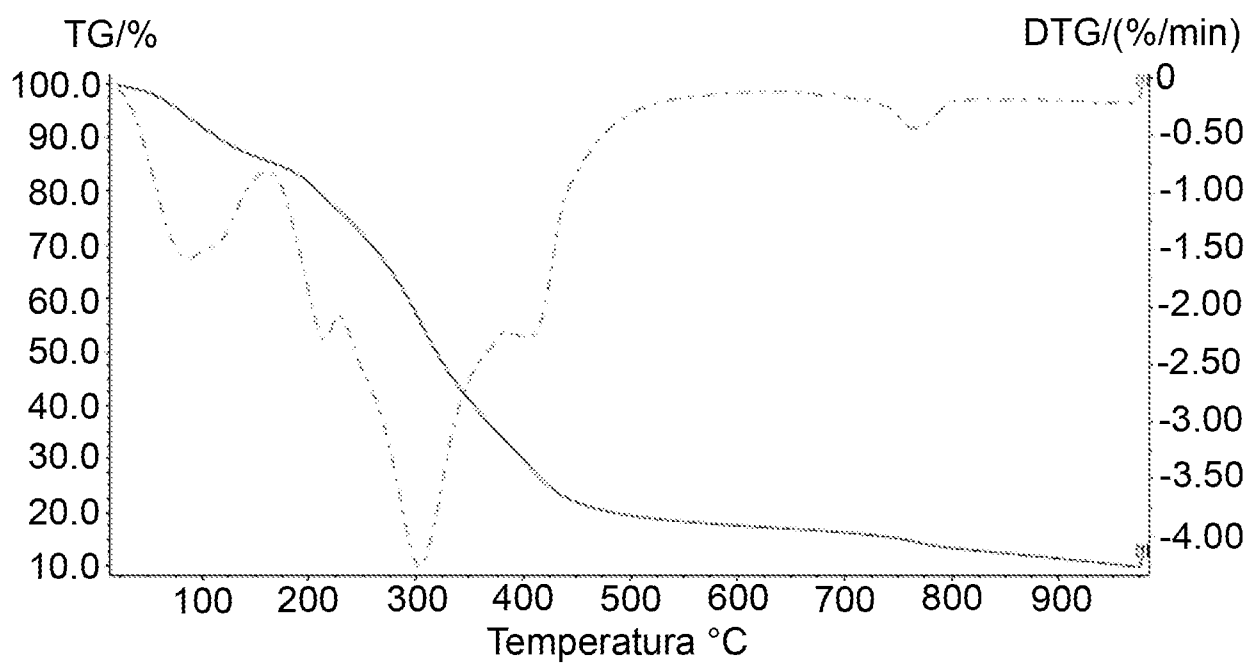
(b)



(c)



(d)

Fig. 1 (Tecnica nota)**Fig. 2 (Tecnica nota)**

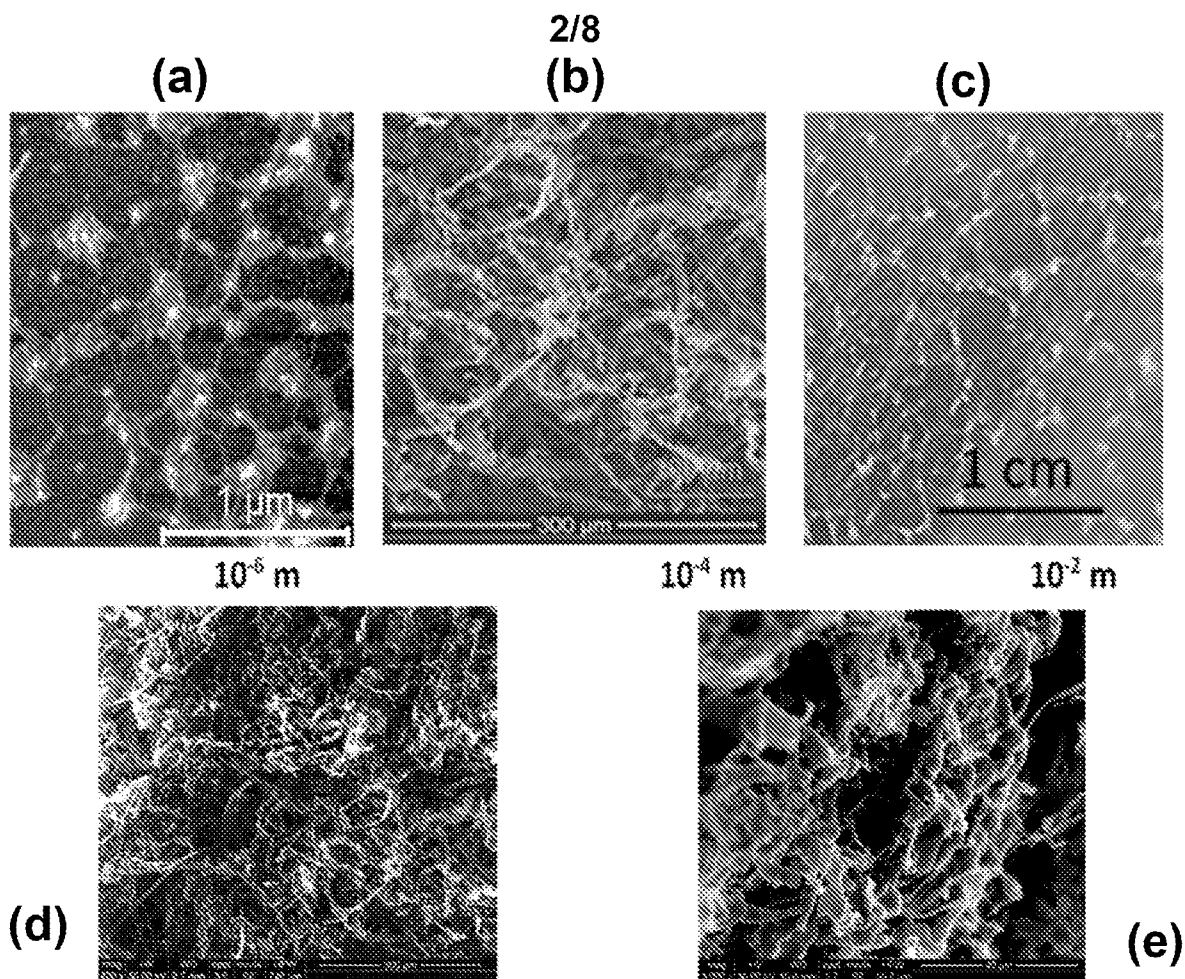


Fig. 3 (Tecnica nota)

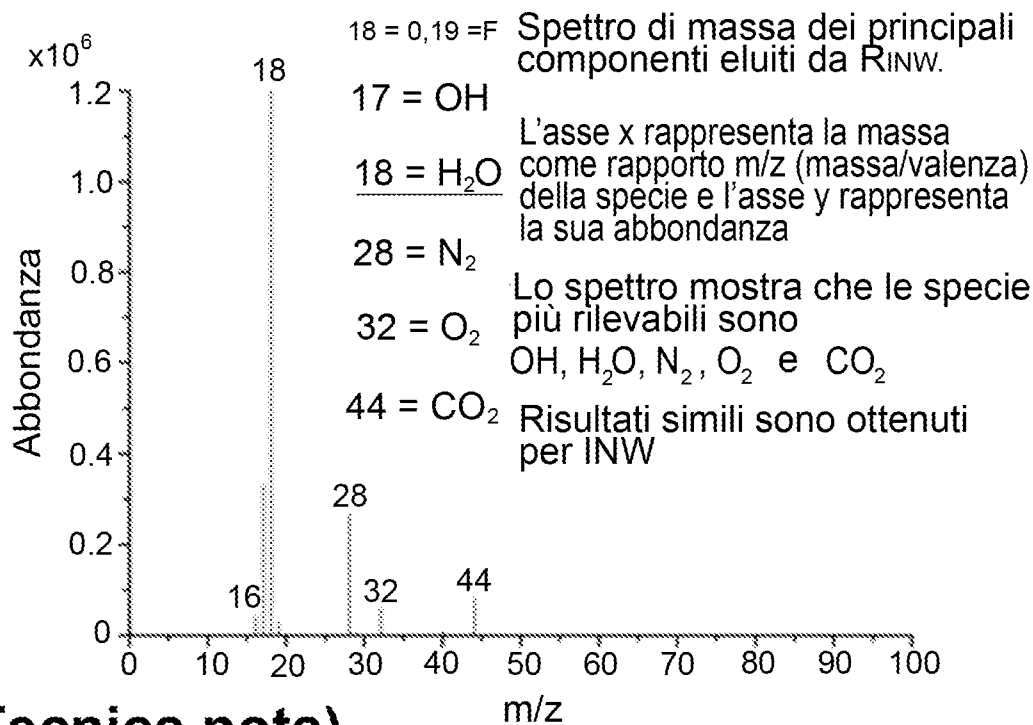


Fig. 4 (Tecnica nota)

3/8

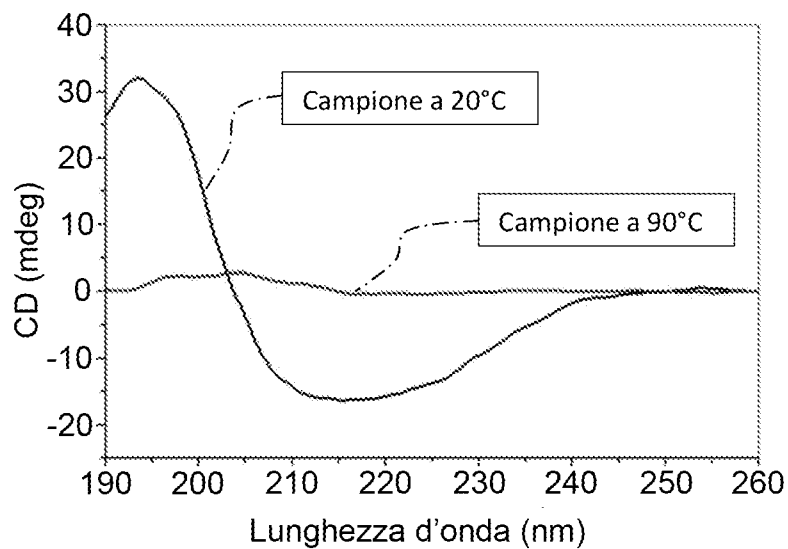


Fig. 5
(Tecnica nota)

Fig. 6

(Tecnica nota)

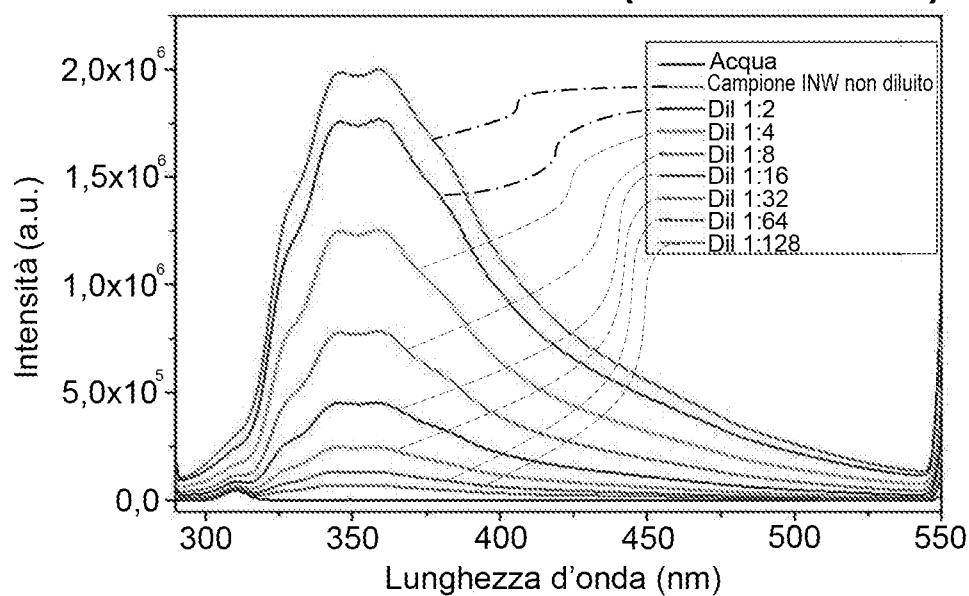
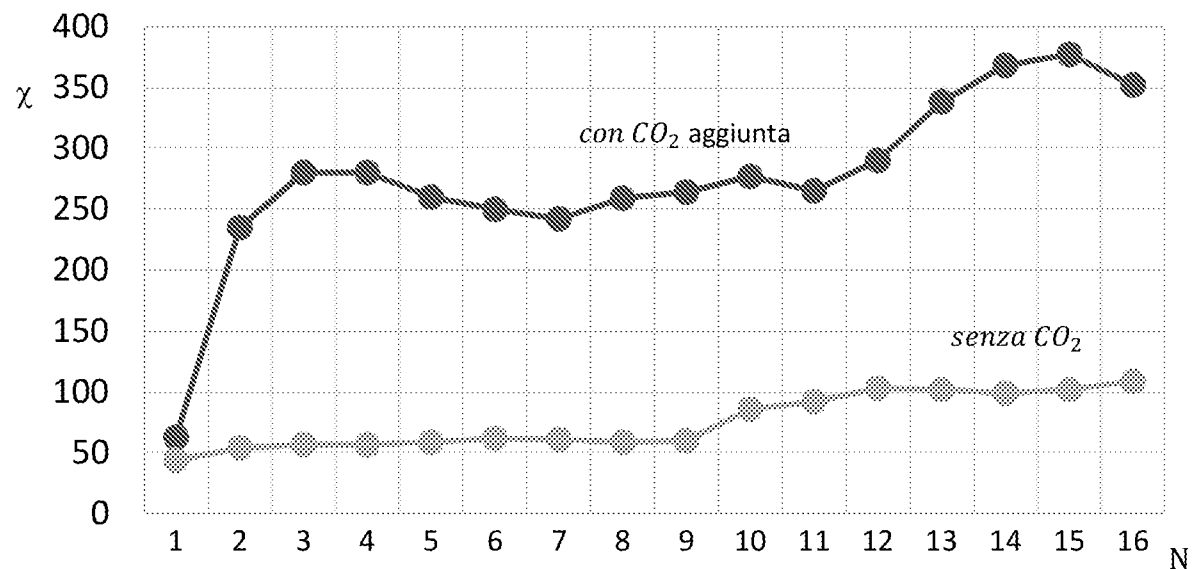


Fig. 8



4/8

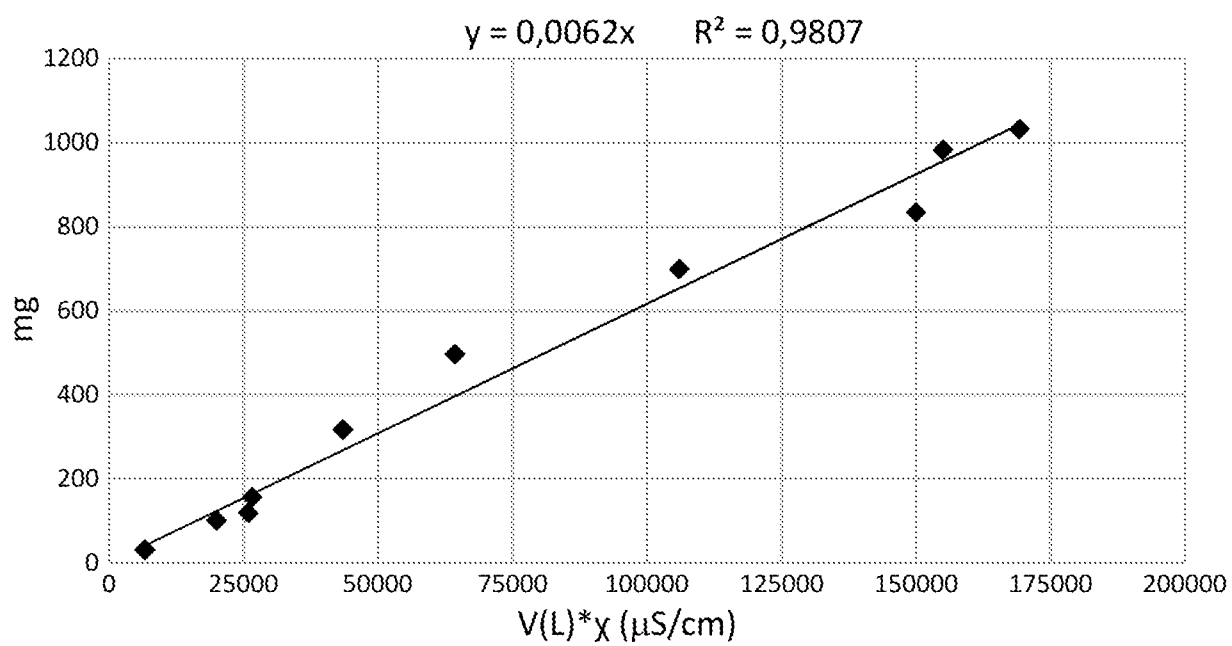


Fig. 7

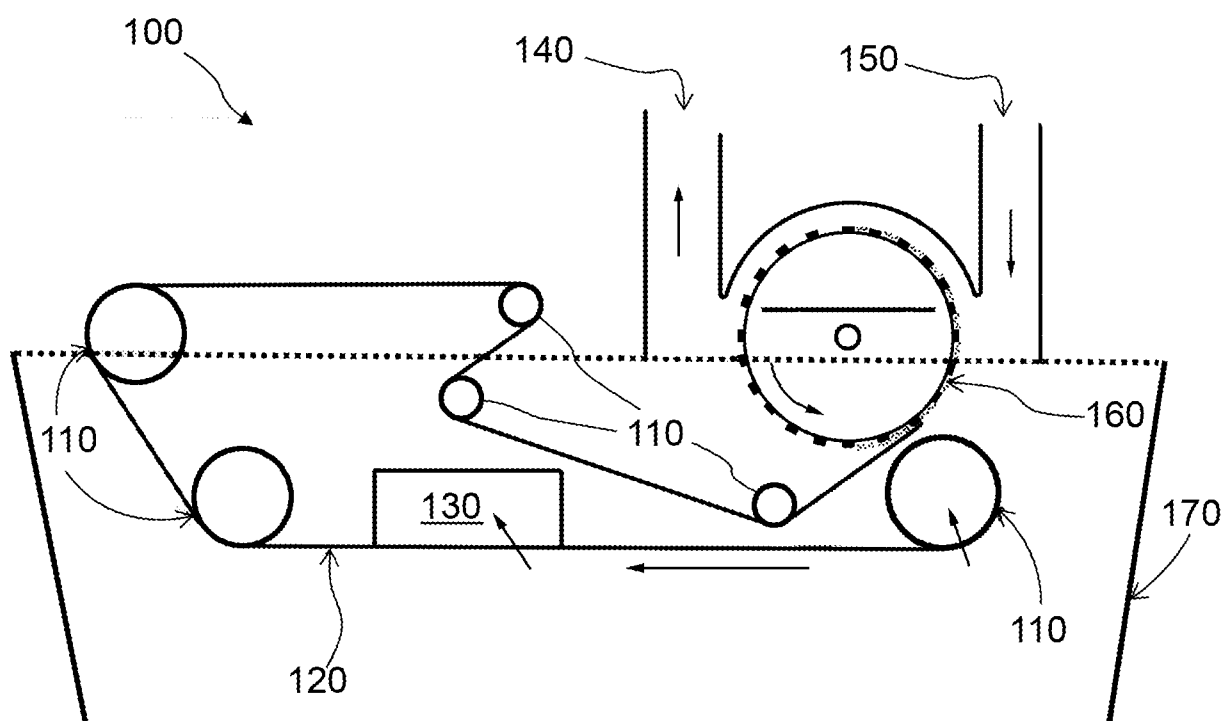


Fig. 9

Fig. 10

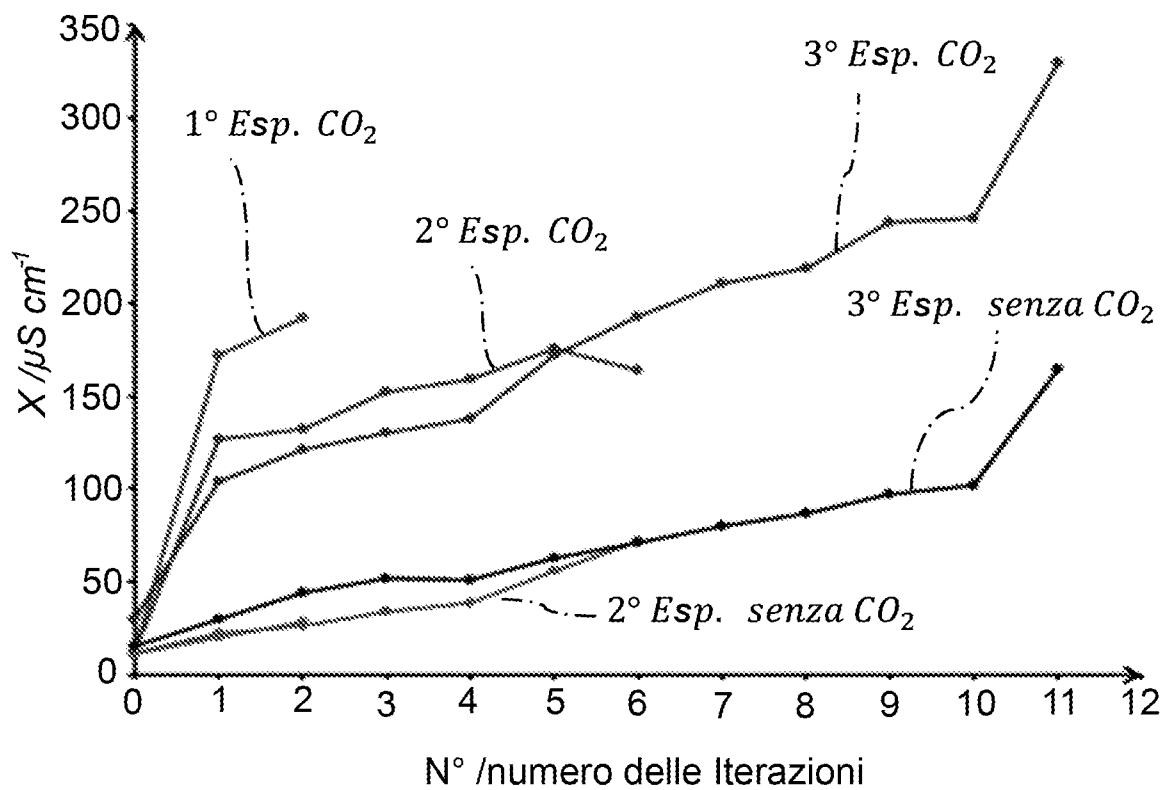
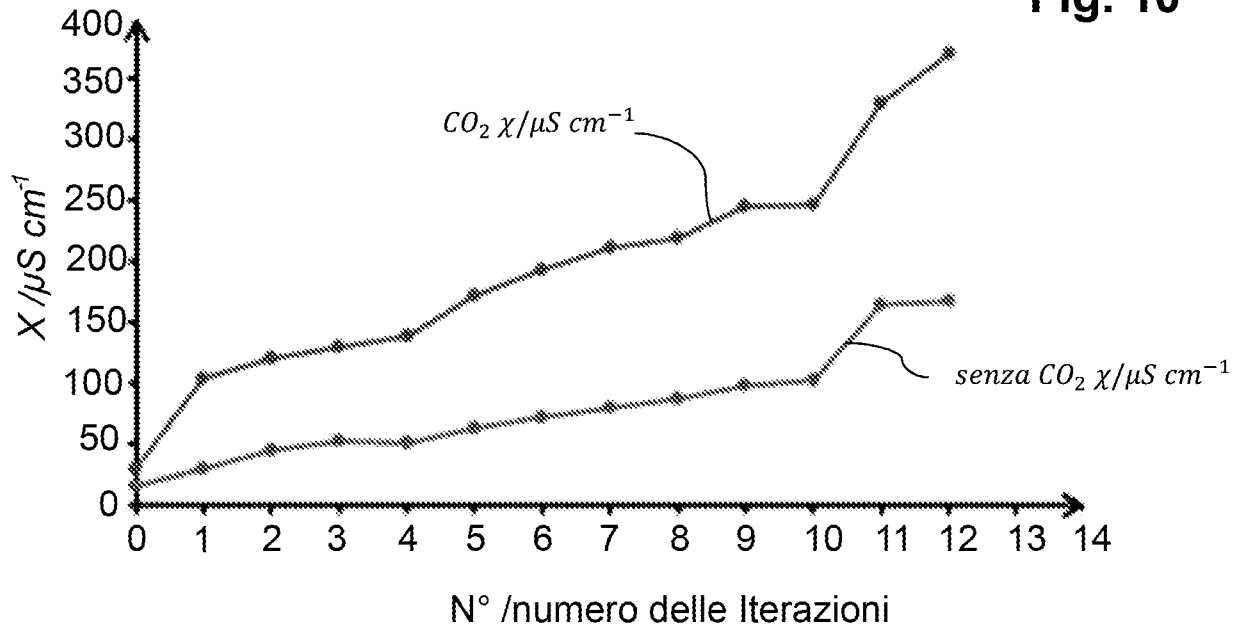


Fig. 11

6/8

Fig. 12

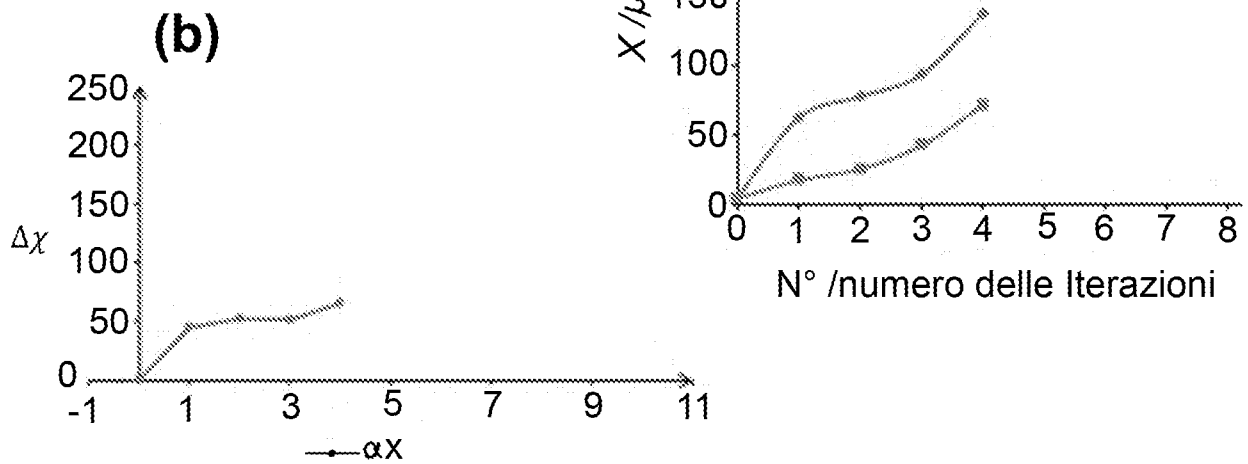


Fig. 13

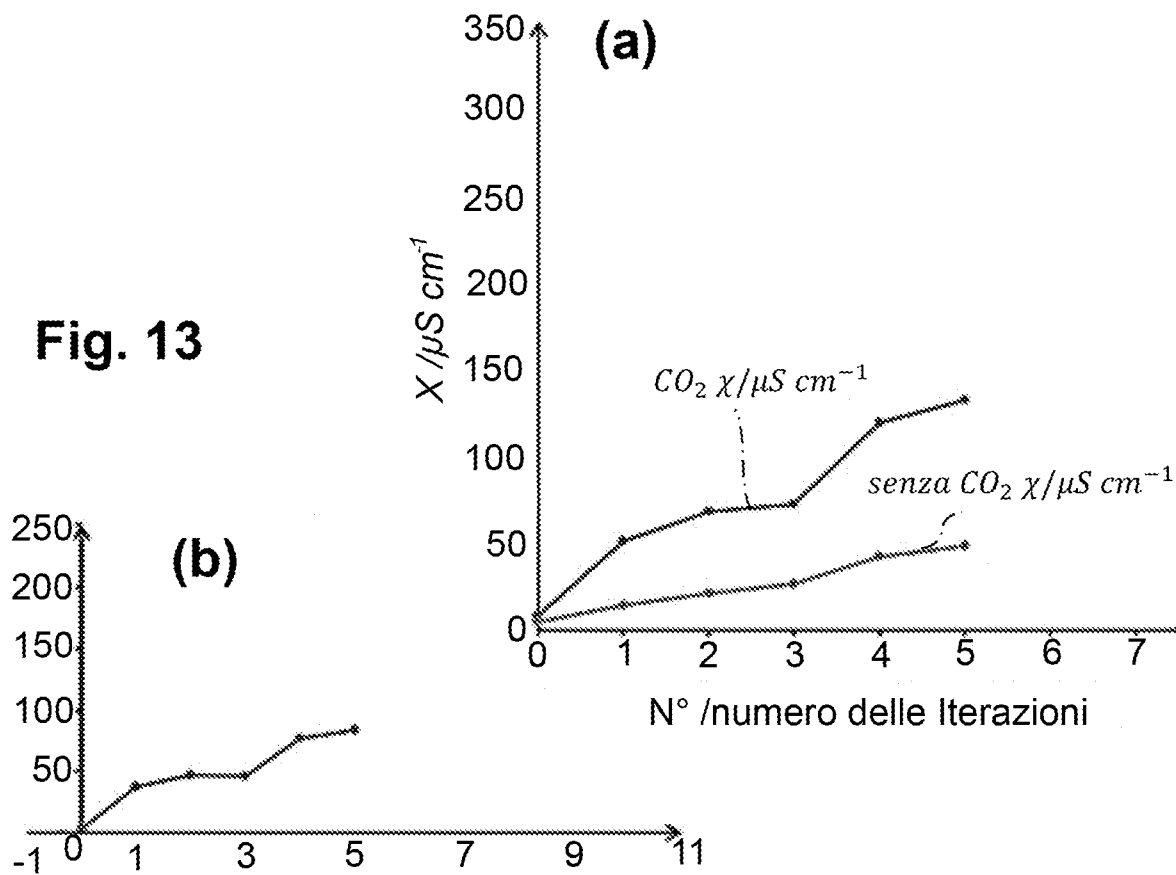


Fig. 14

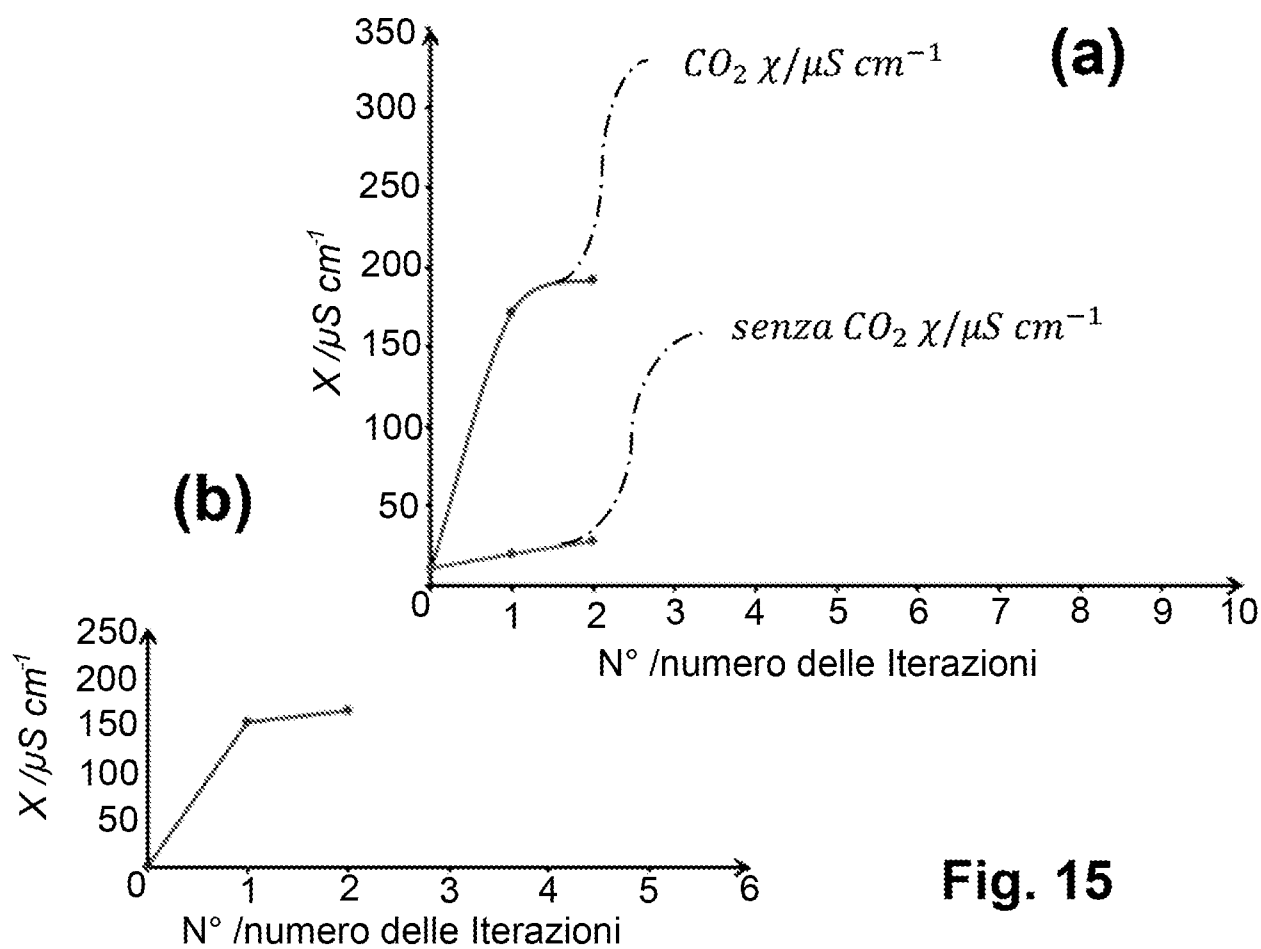
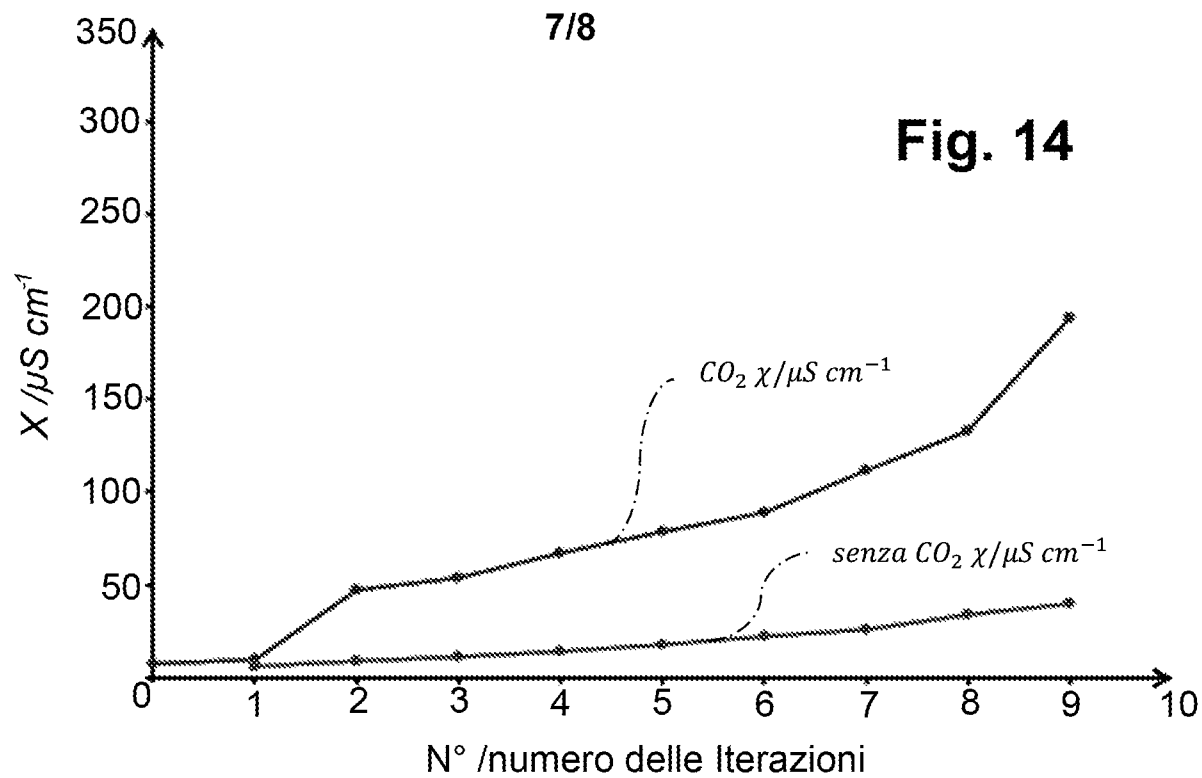


Fig. 15

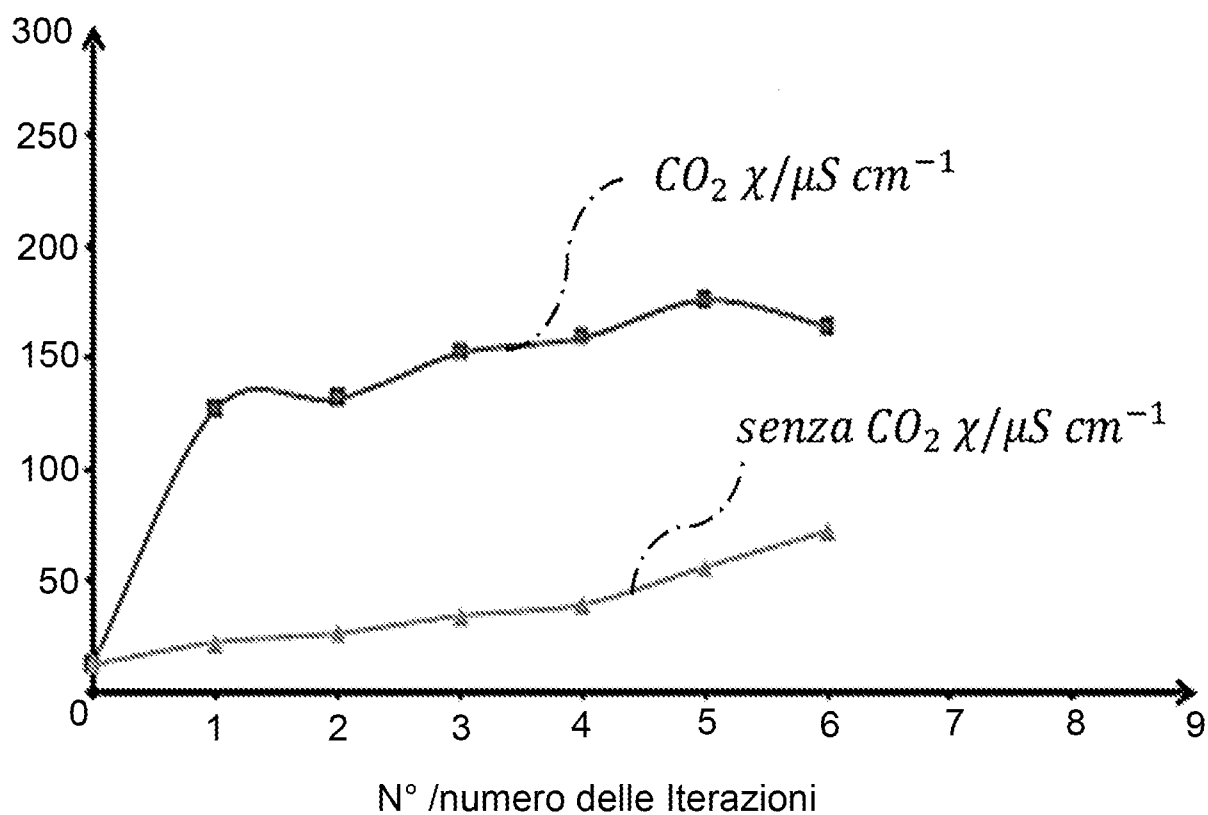
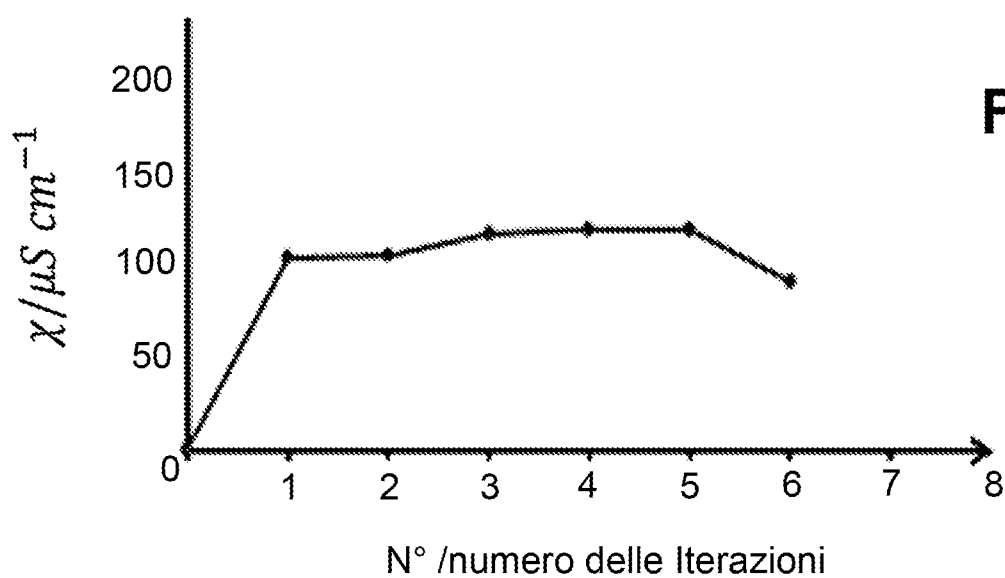


Fig. 16



Percentuali in peso egli elementi C,H e O in $R_{IPW-PF-air}$ e in PF in aria

Elementi	C	H	O
$R_{IPW-PF-air}$	11,3	2,7	86,0
PF	51,1	8,84	40,0

Fig. 17