UNIVERSITÀ DI PARMA
ARCHIVIO DELLA RICERCA

University of Parma Research Repository

Sonda per misurazioni subacquee vettoriali del campo sonoro

This is a pre print version of the following article:

Original
Sonda per misurazioni subacquee vettoriali del campo sonoro / Armelloni, Enrico; Varani, Christian; Farina, Angelo. - (2009), pp. 1-44.

Availability:
This version is available at: 11381/2475037 since: 2015-01-31T16:18:24Z

Publisher:

Published
DOI:

Terms of use:

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available

Publisher copyright

note finali coverpage

(Article begins on next page)

12 October 2024

Camera di Commercio Industria, Artigianato e Agricoltura di UDINE

Verbale di Deposito Domanda di Brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE

Numero domanda: UD2009A000183
CCIAA di deposito: UDINE
Data di deposito: 14/10/2009

In data 14/10/2009 il richiedente ha presentato a me sottoscritto la seguente domanda di brevetto per Invenzione Industriale.

UDINE, 14/10/2009

L'Ufficiale Rogante
Sabina Siniscalchi

Diritti di Segreteria	**15,00 EURO**
Bollo Virtuale	**20,00 EURO**

A. RICHIEDENTE

Cognome Nome/ Denominazione **ADVANCED INDUSTRIAL DESIGN IN ACOUSTIC SRL**
Codice fiscale: 02285590341
Indirizzo: FIDENZA (PR)
VIA G. FERRARIS 13 cap 43036
Natura Giuridica: Persona Giuridica

C. TITOLO

Titolo **SONDA PER MISURAZIONI SUBACQUEE VETTORIALI DEL CAMPO SONORO**

D. INVENTORE DESIGNATO

Cognome Nome **ARMELLONI ENRICO**
Nazionalità: ITALIA

Cognome Nome **VARANI CHRISTIAN**
Nazionalità: ITALIA

Cognome Nome **FARINA ANGELO**
Nazionalità: ITALIA

E. CLASSE PROPOSTA

Classe G01H005000 -

I. MANDATARIO ABILITATO PRESSO L'UIBM

Mandatario Numero iscrizione albo: 950
LIGI STEFANO

Denominazione Studio GLP S.R.L.
Indirizzo: UDINE (UD)
PIAZZALE CAVEDALIS 6/2 cap 33100

L. ANNOTAZIONI SPECIALI

Annotazione speciale IL NUMERO DI RIVENDICAZIONI OLTRE LA DECIMA E' SEI

M. DOCUMENTAZIONE DICHIARATA

Lista documenti

Attestato Versamento
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 0

Tavole Disegno
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 2

Rivendicazione in Italiano
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 4

Rivendicazione in Inglese
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 4

Descrizione in Italiano
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 30

Riassunto in Italiano
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 1

Lettera di Incarico/Autocertificazione
Numero esemplari allegati : 1
Numero esemplari di cui si riserva la presentazione: 0
Numero pagine per esemplare : 1

15 OTT. 2009

Versamento in euro Importo: 320,00

Copia autentica Richiesta

Anticipata accessibilità al pubblico Non concessa

Copia conforme all'originale a seguito di documento informatico pervenuto alla Camera di Commercio di Udine.Bollo assolto in modo virtuale.

Il Funzionario Delegato

Sabina Sinicco

Classe Internazionale: G 01 H 005 / 0000

Descrizione del trovato avente per titolo:

"SONDA PER MISURAZIONI SUBACQUEE VETTORIALI DEL CAMPO SONORO"

a nome ADVANCED INDUSTRIAL DESIGN in ACOUSTIC S.r.l. di nazionalità italiana con sede legale in via G. Ferraris, 13 - 43036 Fidenza (PR)

dep. il al n.

* * * * *

CAMPO DI APPLICAZIONE

Forma oggetto del presente trovato una sonda per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale del campo sonoro.

Più precisamente, forma oggetto del presente trovato una sonda idrofonica per effettuare misure vettoriali, anche complesse, con o senza successiva elaborazione, in ambiente subacqueo, sia esso marino, laghi, fiumi, ecc… nel campo di frequenze sonore ed anche in altri campi di frequenza.

STATO DELLA TECNICA

Sono note sonde per le misurazioni di cui al presente trovato in ambiente aereo.

Queste sonde non sono però idonee ad essere utilizzate in ambiente subacqueo.

I microfoni, che costituiscono i trasduttori

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

impiegati nelle suddette sonde per ambiente aereo, differiscono costruttivamente dai trasduttori acustici impiegabili in ambiente subacqueo.

Infatti, le sonde per misurazioni in ambiente aereo non sono idonee ad un utilizzo in ambiente subacqueo, in quanto i trasduttori, oltre a potersi danneggiare, non sono comunque predisposti a captare un segnale adeguato, essendo dimensionati per accoppiarsi ad un campo sonoro in aria, che ha una impedenza del mezzo migliaia di volte inferiore rispetto all'impedenza dell'acqua.

Peraltro, i microfoni impiegati per le sonde in ambiente aereo utilizzano un diaframma esposto su entrambi i lati al campo sonoro, il che rende la risposta direzionale intrinsecamente non omnidirezionale. È proprio impiegando un adeguato numero di trasduttori direttivi che le sonde microfoniche vettoriali per uso aereo forniscono informazioni vettoriali atte a descrivere la distribuzione spaziale del campo sonoro che incide sulla sonda stessa.

E' uno scopo del presente trovato realizzare una sonda per misurazioni subacquee definendo disposizioni geometriche dei trasduttori atte ad ottenere un sensibile miglioramento delle

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

prestazioni rispetto alle corrispondenti sonde ad uso aereo.

E' pure uno scopo del presente trovato realizzare una sonda per misurazioni subacquee che concretizza disposizioni geometriche dei trasduttori efficaci nel campo di frequenze tipiche da analizzare.

E' pure uno scopo del presente trovato realizzare una sonda per misurazioni subacquee atta ad analizzare suoni provenienti da una o più direzioni specifiche, oppure, in una diversa variante, suoni provenienti da tutte le direzioni.

Per ovviare agli inconvenienti della tecnica nota e per ottenere questi ed ulteriori scopi e vantaggi, la Richiedente ha studiato, sperimentato e realizzato il presente trovato.

ESPOSIZIONE DEL TROVATO

Il presente trovato è espresso e caratterizzato nella rivendicazione indipendente.

Le relative rivendicazioni dipendenti espongono altre caratteristiche del presente trovato, o varianti dell'idea di soluzione principale.

Secondo un aspetto del trovato, una sonda per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale del campo sonoro comprende una pluralità di trasduttori subacquei del suono, o idrofoni, in

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

numero predeterminato, o predeterminabile. La disposizione spaziale e/o la distanza dei trasduttori subacquei rispetto ad un centro acustico della sonda è correlata alle direzioni di provenienza e/o alle frequenze acustiche del campo sonoro.

Secondo una variante, i trasduttori subacquei sono disposti ai vertici di un poliedro regolare.

In questo modo la sonda secondo il trovato funziona in maniera efficace nella maggior parte delle direzioni di provenienza del suono, ciò comportando una elaborazione semplice dei segnali prodotti da ciascun trasduttore.

Secondo una prima soluzione, il poliedro è un tetraedro.

Secondo una variante, il poliedro è una qualunque figura geometrica tridimensionale più complessa, quale un cubo, un dodecaedro, un icosaedro, e così via.

Secondo una variante del trovato, i trasduttori sono disposti ai vertici di due o più poliedri reciprocamente intersecati.

Secondo una variante del presente trovato, gli idrofoni, o trasduttori subacquei del suono, sono disposti in modo pseudo casuale. In questo modo, è

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Candalis, 6/2 - 33100 UDINE

possibile ottimizzare la sonda secondo il trovato, in modo da acquisire in maniera piu' efficace il suono proveniente da alcune specifiche direzioni. Oppure è possibile ottimizzare la sonda in modo da evitare la perdita di segnale sonoro a predeterminate e singole frequenze e/o predeterminate e singole direzioni di provenienza, come puo' invece accadere nel caso in cui i trasduttori sono disposti con regolarità. Ciò comporta, però, una elaborazione più complessa dei segnali dei trasduttori, al fine di estrarre le componenti vettoriali del campo sonoro.

Costituisce variante del presente trovato il prevedere che la sonda sia provvista di mezzi di registrazione a più canali, ciascuno di detti canali essendo associato ad un corrispondente trasduttore.

Rientra nello spirito del presente trovato il prevedere una variante in cui la sonda è provvista di mezzi di elaborazione atti sia a registrare i segnali acquisiti da detti trasduttori che ad effettuare predeterminate elaborazioni su detti segnali.

Secondo una ulteriore variante, la sonda secondo il trovato comprende mezzi di localizzazione e

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

posizionamento atti a direzionare in maniera voluta la sonda rispetto ad un predeterminato sistema di riferimento terrestre.

È ancora variante del presente trovato il prevedere che la sonda secondo il trovato comprende mezzi di rilevazione di parametri fisico-chimici, dell'ambiente subacqueo in cui è posizionata la sonda.

Secondo una variante detti mezzi di rilevazione comprendono un termometro.

Secondo una variante detti mezzi di rilevazione comprendono un misuratore di salinità dell'acqua.

Secondo una ulteriore variante detti mezzi di rilevazione comprendono un misuratore di profondità.

ILLUSTRAZIONE DEI DISEGNI

Queste ed altre caratteristiche del presente trovato appariranno chiare dalla seguente descrizione di una forma preferenziale di realizzazione, fornita a titolo esemplificativo, non limitativo, con riferimento agli annessi disegni in cui:

- la fig. 1 è una figura schematica di una sonda per misurazioni acustiche subacquee secondo il presente trovato;

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

- la fig. 2 è uno schema a blocchi di una prima forma di realizzazione della sonda di fig. 1;
- la fig. 3 è uno schema a blocchi di una variante della sonda di fig. 2;
- la fig. 4 è uno schema a blocchi di una seconda variante della sonda di fig. 2;
- la fig. 5 è uno schema a blocchi di una terza variante della sonda di fig. 2;
- la fig. 6 è una vista schematica di un banco di filtraggio della sonda secondo il presente trovato.

Per facilitare la comprensione, numeri di riferimento identici sono stati utilizzati, ove possibile, per identificare elementi comuni identici nelle figure. Va inteso che elementi e caratteristiche di una forma di realizzazione possono essere convenientemente incorporati in altre forme di realizzazione senza ulteriori precisazioni.

DESCRIZIONE DI UNA FORMA PREFERENZIALE DI REALIZZAZIONE

Con riferimento alle figure allegate, una sonda 10 per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale secondo il presente trovato comprende

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

una pluralità di trasduttori subacquei, o idrofoni 12, un corpo 16 centrale al quale gli idrofoni 12 sono stabilmente associati mediante steli 14 di collegamento ed un supporto 20 di posizionamento della sonda 10.

Gli idrofoni 12 sono, nella soluzione realizzativa illustrata in figura 1, in numero di quattro e sono disposti in corrispondenza dei vertici di un tetraedro regolare, pertanto, sostanzialmente ad uguale distanza rispetto ad un centro acustico C della sonda 10.

Resta inteso che la sonda 10 possa prevedere un numero di idrofoni 12 maggiore di quattro, sempre disposti in maniera regolare in corrispondenza dei vertici di un poliedro regolare.

Il numero degli idrofoni 12 presenti nella sonda 10 è determinato sostanzialmente in base alla precisione o risoluzione di acquisizione acustica desiderata. Nella fattispecie, il numero di idrofoni 12 dipende dall'analisi e dalla successiva ricostruzione di un campo sonoro effettuato mediante un procedimento di tipo noto come "Ambisonics".

Tale procedimento prevede la separazione delle componenti "armoniche sferiche" del campo sonoro

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

stesso. La sua ricostruzione avviene in modo più o meno fedele a seconda del numero di armoniche sferiche utilizzato. Il loro numero e, conseguentemente, il numero di trasduttori, o idrofoni 12, della sonda 10 è determinato in base al numero di tutte le armoniche sferiche di un certo ordine L. Ciò consente di ottenere una uniforme copertura angolare in tutte le possibili direzioni di arrivo del suono.

In generale, il numero di armoniche sferiche N di un campo sonoro di un predeterminato ordine L è espresso come: $N = 1+2 \cdot L$. Inoltre, è sempre necessario includere nell'analisi tutte le armoniche sferiche dell'ordine massimo preso in esame, e di tutti gli ordini ad esso inferiori.

Pertanto una sonda Ambisonics del primo ordine, in cui le armoniche sferiche utilizzate sono di ordine "0" e "1", prevede quattro segnali; una sonda Ambisonics del secondo ordine, in cui le armoniche sferiche utilizzate sono di ordine "0", "1" e "2", prevede nove segnali; una sonda Ambisonics del terzo ordine prevede sedici segnali, e così via.

La disposizione degli idrofoni 12 ai vertici di un poliedro regolare, ad esempio ai vertici di un

il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

tetraedro, permette di ottenere una sonda 10 che funziona in maniera efficace qualunque sia la direzione di provenienza del suono, e che richiede una elaborazione dei segnali particolarmente semplice. Tuttavia, la regolarità geometrica della disposizione degli idrofoni 12 determina una significativa riduzione dell'ampiezza dei segnali vettoriali ottenuti in corrispondenza di alcune specifiche frequenze discrete e direzioni di provenienza del suono.

La riduzione dei segnali è dovuta ad aliasing spaziale.

Sarebbe idealmente necessario ottenere una descrizione continua del campo acustico, o sonoro, misurato sulla sfera, ma per motivi di ordine pratico il campo acustico deve essere campionato in un numero finito di punti. Questo problema è assolutamente analogo al caso del campionamento di un segnale definito nel dominio del tempo, in cui detto segnale viene ricostruito sulla base di un insieme discreto di campioni del segnale stesso.

Nel dominio spaziale il problema dell'aliasing si manifesta in maniera analoga a quanto avviene nel dominio del tempo. Esiste, tuttavia, una notevole complicazione: infatti, dal momento che il dominio

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

del tempo è monodimensionale, il dominio duale della frequenza è anch'esso monodimensionale. Al contrario, essendo lo spazio un dominio tridimensionale, il suo dominio duale è anch'esso tridimensionale.

Ipotizzando che la sonda 10 sia come una sfera e disponendo di un numero finito L di campioni, cioè di un numero finito di punti di misura cioè di idrofoni 12 sulla sfera, è necessario che il campo acustico, o sonoro, misurato sia descritto da una serie matematica troncata ad un certo ordine N funzione di L.

Quanto sopra è analogo del teorema di Shannon per il dominio spaziale. Troncare la serie non è una pura operazione matematica, ma richiederebbe l'implementazione di un filtro anti-aliasing spaziale, che faccia in modo che le componenti del campo acustico relative alle armoniche sferiche di ordine elevato non vengano rilevate. Armoniche sferiche di ordine n elevato sono responsabili di rapide variazioni del campo acustico al variare delle coordinate angolari "Theta" e "Phi", come nel dominio del tempo gli ordini elevati della serie di Fourier sono responsabili di rapide variazioni nel tempo della funzione in esame. L'assenza di un

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

filtro anti-aliasing spaziale determina l'insorgere di aliasing spaziale. Tuttavia la realizzazione di tale filtro non è semplice, permanendo pertanto gli effetti negativi dell'aliasing spaziale se viene impiegata una distribuzione regolare dei trasduttori 12.

La scelta del numero di trasduttori, o idrofoni 12, è correlata al voluto ordine Ambisonics da realizzare, con un limite minimo di avere un numero di idrofoni 12 almeno pari al numero di segnali armonici sferici da ottenere, potendone aumentare le prestazioni aumentando di poco il numero di trasduttori oltre tale limite.

Soluzioni tipiche di sonde secondo il presente trovato, che prevedono la disposizione degli idrofoni 12 in corrispondenza dei vertici di poligoni regolari sono ad esempio:

- sonda che realizza un procedimento Ambisonics del primo ordine, con quattro armoniche sferiche ottenute dall'elaborazione dei segnali di altrettanti idrofoni posti ai vertici di un tetraedro;
- sonda che realizza un procedimento Ambisonics del secondo ordine, con nove armoniche sferiche ottenute

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavallis, 6/2 - 33100 UDINE

dall'elaborazione dei segnali di dodici idrofoni disposti in corrispondenza del centro delle facce di un dodecaedro;

- sonda che realizza un procedimento Ambisonics del terzo ordine, con sedici armoniche sferiche, ottenute dall'elaborazione dei segnali di venti idrofoni posti al centro delle facce di un icosaedro;
- sonda che realizza un procedimento Ambisonics del quarto ordine, con venticinque armoniche sferiche ottenute dall'elaborazione dei segnali di trentadue idrofoni posti al centro delle facce ed ai vertici di un dodecaedro.

Secondo una variante, i trasduttori 12 sono disposti rispetto al corpo 16 in maniera pseudo-casuale, in modo da acquisire in maniera efficace il suono proveniente da specifiche direzioni e/o evitando la possibile perdita di segnale a predeterminate e singole frequenze.

Ciò comporta, però, una elaborazione più complessa dei segnali dei trasduttori, al fine di estrarre le componenti vettoriali del campo sonoro. Infatti è generalmente necessario effettuare una

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

simulazione al calcolatore considerando un vastissimo numero di configurazioni spaziali possibili per gli idrofoni 12. Successivamente in base all'analisi dei risultati è possibile scegliere una configurazione efficace ed ottimale in base alle specifiche frequenze e/o direzioni di provenienza del campo sonoro da acquisire. Tale disposizione pseudo-casuale risulta efficace quando il numero degli idrofoni 12 impiegati è sovrabbondante rispetto al numero minimo di idrofoni 12 richiesto, cioè al numero di armoniche sferiche, richiesto per descrivere il campo sonoro, secondo l'analisi e ricostruzione Ambisonics.

Ad esempio, una analisi e successiva ricostruzione del secondo ordine Ambisonics richiede, per essere descritta correttamente, nove armoniche sferiche e, quindi, altrettanti idrofoni 12; pertanto una disposizione pseudo-casuale con dodici o, anche, con sedici idrofoni 12 in una sonda 10 secondo il presente trovato risulta efficace, consentendo di estendere l'intervallo di frequenza in cui le armoniche di ordine elevato vengono elaborate correttamente.

Una disposizione degli idrofoni pseudo-casuale consente di estendere l'intervallo di frequenza in

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

cui le armoniche di ordine elevato vengono elaborate correttamente. Infatti, la disposizione pseudo-casuale consente di confinare il problema dell'aliasing spaziale ad armoniche sferiche di ordine più elevato, agendo da "dithering spaziale" sull'informazione spaziale prima che essa venga campionata.

La distanza degli idrofoni 12 dal centro acustico C della sonda 10, è sostanzialmente correlata all'intervallo di lunghezze d'onda corrispondente al tipo di campo acustico subacqueo da acquisire.

Dal momento che la lunghezza d'onda del suono in acqua è significativamente più grande della lunghezza d'onda in aria, a parità di frequenza, è possibile dimensionare in maniera efficace la forma e la disposizione degli idrofoni 12, essendo la loro dimensione fisica di molto inferiore, rispetto alla lunghezza d'onda. Questo consente di ottenere prestazioni migliori di quelle ottenibili con le sonde della tecnica nota in ambiente aereo.

Secondo una variante, una sonda 10 può anche presentare una disposizione spaziale degli idrofoni 12 atta a rilevare frequenze (o intervalli di frequenze) differenti in modo discreto. Tale disposizione spaziale è realizzata utilizzando, ad

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

esempio, almeno due gruppi di idrofoni 12, ciascuno disposto in corrispondenza di vertici o facce di altrettanti poliedri regolari aventi raggio diverso. Ciascun gruppo di trasduttori 12 è pertanto predisposto all'acquisizione di una predeterminata frequenza o di un predeterminato intervallo di frequenze di relativi campi acustici.

Secondo un'ulteriore variante, una sonda secondo il trovato comprende una disposizione spaziale degli idrofoni 12 del tipo a "nuvola", in cui la distanza di ciascun idrofono 12 dal centro acustico C della sonda 10 varia in maniera continua. Questa disposizione consente la rilevazione di un ampio intervallo di frequenze o di frequenze predefinite e differenti fra di loro.

In questo caso, essendo la distribuzione degli idrofoni 12 non regolare nello spazio, l'elaborazione matematica di filtraggio da applicare ai segnali provenienti dagli idrofoni è piuttosto complicata; tale elaborazione provvede automaticamente a dare maggior peso ai trasduttori 12 che sono posizionati in modo utile alla generazione dei segnali armonici sferici in un certo intervallo di frequenza, ed a dare invece minor peso ai trasduttori 12 posizionati troppo

il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 – 33100 UDINE

vicini o troppo lontani dal centro acustico C della distribuzione per risultare utili nell'intervallo di frequenza preso in esame.

Tale disposizione permette di evitare brusche transizioni, a specificate frequenze, dal segnale proveniente da un gruppo di trasduttori 12 al segnale proveniente da un differente gruppo di trasduttori 12.

I segnali generati dagli idrofoni 12 vengono rilevati con continuità, ossia campionati nel tempo ad una predeterminata frequenza di campionamento. Tali segnali vengono preferibilmente registrati in un formato digitale di tipo noto e la frequenza massima contenuta nel segnale registrato dipende dalla suddetta frequenza di campionamento.

I segnali acquisiti non sono impiegabili in tutto il loro intervallo di frequenza, ma, per la ricostruzione del campo sonoro vengono elaborate solo le frequenze inferiori a quelle oltre le quali si manifesta il fenomeno di aliasing spaziale.

Nel caso in cui la sonda 10 sia predisposta a rilevare una specifica frequenza o una correlata gamma di frequenze, gli idrofoni 12 sono tutti dello stesso tipo e con le stesse caratteristiche.

Nel caso in cui, invece, si utilizzino due, o

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

più, gruppi di trasduttori 12, in cui ciascun gruppo è predisposto all'acquisizione di un corrispondente segnale ad una predeterminata frequenza o ad un predeterminato intervallo di frequenze, è invece possibile utilizzare per ciascun gruppo il tipo di trasduttore 12 più idoneo alla frequenza o all'intervallo di frequenze da analizzare.

Secondo una soluzione del trovato, i trasduttori 12 della sonda sono sostanzialmente omnidirezionali. Infatti, le componenti vettoriali, o direttive, dei segnali vengono ricostruite artificialmente mediante l'elaborazione dei segnali registrati.

Secondo una variante i trasduttori 12 sono almeno parzialmente direttivi o sub-cardioidi.

La sonda 10 secondo il presente trovato prevede, pertanto, di acquisire i segnali dei trasduttori 12 mediante un campionamento digitale ad una predeterminata e voluta frequenza di campionamento, correlata alla gamma di frequenze del campo acustico da acquisire, e registrando un numero di sequenze, o tracce digitali, per ciascun idrofono 12 della sonda 10. La sonda 10 comprende inoltre un contenitore 18, a tenuta stagna, all'interno del

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

quale vengono alloggiati i componenti elettronici descritti di seguito.

Secondo una prima soluzione, illustrata in fig. 2, la sonda 10 comprende una unità di campionamento 22, predisposta a ricevere in ingresso i segnali da ciascun idrofono 12 e campionarli ad una predeterminata frequenza di campionamento. La sonda 10 comprende inoltre una unità di memorizzazione 24, collegata all'unità di campionamento 22 e predisposta a memorizzare tali sequenze o tracce.

Vantaggiosamente l'unità di campionamento e l'unità di memorizzazione 24 fanno parte di un registratore digitale multicanale. L'unità di memorizzazione 24 è una memoria digitale di tipo rimovibile, come una memoria USB o una scheda di memoria "flash memory", sulla quale vengono registrate le tracce relative ai segnali provenienti dai trasduttori 12 senza effettuare alcuna elaborazione.

L'unità di memorizzazione 24 viene successivamente collegata ad un personal computer, e mediante un apposito programma di elaborazione, le tracce relative ai segnali registrati vengono lette ed elaborate mediante predeterminate funzioni di filtraggio, scrivendo i dati così elaborati

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

sulla stessa unità di memoria 24 o su un'altra unità di memorizzazione più capiente.

Secondo una variante, illustrata in fig. 3, la sonda comprende una unità di elaborazione 26, collegata sia all'unità di campionamento 22 che all'unità di memorizzazione 24. L'unità di elaborazione 26 può comprendere un minicomputer o una specifica unità di elaborazione del segnale come un processore DSP (Digital Signal Processor). In questa soluzione, l'elaborazione delle tracce di campionamento dei segnali viene effettuata direttamente a bordo della sonda 10 in tempo reale, e sull'unità di memorizzazione 24 vengono registrati i risultati dell'elaborazione digitale. In questa soluzione l'unità di memorizzazione 24 oltre a memorizzare le tracce digitali uscenti dall'unità di campionamento 22 e relative ai segnali originari provenienti direttamente dai trasduttori 12, è in grado di memorizzare anche i segnali già elaborati dall'unità di elaborazione 26 e corrispondenti alle armoniche sferiche fino ad un ordine massimo determinato dal numero di trasduttori 12 compresi nella sonda 10.

Secondo una ulteriore variante, illustrata in fig. 4, la sonda 10 comprende mezzi di

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

localizzazione e posizionamento 30 predisposti a consentire un predeterminato orientamento dei trasduttori 12 in modo da definire un desiderato sistema di riferimento, ad esempio per definire il "punto zero" di un sistema di coordinate sferiche. In una soluzione detti mezzi di localizzazione e posizionamento comprendono quali una bussola e/o una livella.

Secondo una ulteriore variante, illustrata in fig. 5, la sonda 10 comprende mezzi di rilevazione di parametri fisico-chimici. In particolare, sono previsti una sonda di temperatura 32 per la misurazione della temperatura dell'acqua, un rilevatore di salinità 34 ed un rilevatore di profondità 36 collegati all'unità di elaborazione 26. In questo modo, l'unità di elaborazione 26 può elaborare in maniera più precisa le tracce relative ai segnali dei trasduttori 12 acquisite mediante l'unità di campionamento 22, in base ai valori specifici dei parametri fisico-chimici dell'ambiente subacqueo come rilevati.

In una soluzione più semplice, non illustrata nelle figure, la sonda di temperatura 32, il rilevatore di salinità 34 e il rilevatore di profondità 36 sono direttamente collegati all'unità

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

di campionamento 22. In questo modo oltre a registrare i segnali provenienti dagli idrofoni 12, vengono memorizzati sull'unità di memorizzazione 24 anche i valori relativi a tali parametri fisico-chimici. La frequenza di campionamento per la registrazione digitale di tali parametri è molto più piccola rispetto a quella di campionamento dei suoni, occupando pertanto una ridotta quantità di memoria dell'unità di memorizzazione 24 rispetto a quella utilizzata per il campionamento acustico.

Indicando con T il numero di trasduttori 12, qualunque siano le loro caratteristiche costruttive ed il loro posizionamento geometrico, gli N segnali armonici sferici da ottenere, indicati b_j, possono essere espressi come combinazione lineare di T segnali provenienti dai trasduttori, indicati a_i, ai quali vengono applicati opportuni filtri di conversione $f_{i,j}$ secondo la seguente formula (fig. 6):

$$b_j=a_1\otimes f_{1,j}+a_2\otimes f_{2,j}+a_3\otimes f_{3,j}+a_3\otimes f_{3,j}+\ldots+a_T\otimes f_{T,j} \qquad j=1..N$$

Nella formula precedente si prevede di effettuare i filtraggi mediante una convoluzione di filtri a risposta all'impulso finita (FIR); pertanto l'operatore convoluzione "⊗" esprime il prodotto vettoriale fra due vettori di numeri dei quali il

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

primo è associato al segnale da filtrare, e il secondo è associato ai coefficienti del corrispondente filtro FIR.

Analizzando l'operazione di convoluzione relativa al primo dei T filtraggi nella formula soprastante, e ipotizzando che il filtro FIR abbia una lunghezza di M+1 campioni, si ottiene:

$\{s_1\} = \{a_1\} \otimes \{f_{1,j}\}$

Il simbolo {} rappresenta un vettore numerico, cioè una lunga sequenza di campioni nel tempo, ottenuti campionando i segnali degli idrofoni 12 con una opportuna frequenza di campionamento.

Il k-esimo elemento del vettore risultante s_1, è stato così calcolato:

$s_1[k]=a_1[k]\cdot f_{1,j}[0]+a_1[k-1]\cdot f_{1,j}[1]+\ldots+a_1[k-M]\cdot f_{1,j}[M]$

La convoluzione di due segnali nel tempo e', pertanto, una somma di prodotti, come pure il filtraggio spaziale necessario per generare i segnali armonici sferici è anch'esso una somma di prodotti, esteso ai segnali campionati nello spazio anziché nel tempo.

Pertanto, il filtraggio operato sui segnali è una unica operazione di convoluzione spazio-temporale.

Oggetto del presente trovato è, inoltre, un procedimento per il calcolo dei coefficienti dei

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

filtri FIR $f_{i,j}$ utilizzati per la conversione dei segnali provenienti dai trasduttori 12 subacquei ai segnali armonici sferici.

Tali coefficienti vengono determinati attraverso la soluzione di un sistema lineare di equazioni algebriche, possibilmente sovra condizionato, ottenuto dalla conoscenza del segnale rilevato su ciascun trasduttore 12 allorché la sonda 10 viene investita da un campo sonoro noto, ad esempio da un'onda piana e progressiva o da una onda sferica, provenienti da una determinata direzione.

È necessario conoscere la risposta dei trasduttori 12 per un elevato numero di diversi campi sonori di test, che esplorino con sufficiente uniformità tutte le possibili direzioni di arrivo del suono per cui la sonda 10 viene ottimizzata.

Tali direzioni di arrivo sono uniformemente distribuite sull'intero orizzonte solido di 4π steradianti nel caso di una sonda atta ad acquisire suoni provenienti da tutte le direzioni.

Nel caso in cui la sonda 10 viene ottimizzata per funzionare solo in parte dell'orizzonte sferico, i segnali impiegati per il calcolo dei filtri sono quelli relativi a onde sonore provenienti in maggior parte dalle specifiche direzioni di

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

interesse, dovendo comunque includere, in minor numero, anche segnali relativi a direzioni di provenienza del suono che coprono tutte le altre possibili direzioni.

Sia P il numero di segnali noti, in cui $P > N \cdot T$, poichè il numero di condizioni deve essere maggiore o al più uguale al numero di filtri da realizzare.

Per ciascuna direzione di arrivo del suono sulla sonda 10, è nota l'ampiezza che ciascun segnale armonico sferico ha, in funzione degli angoli di Azimuth A ed Elevazione E di provenienza del suono.

Si indica con F(A,E) l'ampiezza delle armoniche sferiche dei vari ordini descritte mediante una raccolta nota di funzioni analitiche.

Pertanto, imponendo che il segnale ottenuto dal filtraggio dei segnali provenienti dai trasduttori, noti per le P direzioni di prova, produca i valori teorici calcolati per tali direzioni di provenienza si ottengono P equazioni di un corrispondente sistema di equazioni:

$$a_{1,p} \otimes f_{1,j} + a_{2,p} \otimes f_{2,j} + a_{3,p} \otimes f_{3,j} + a_{3,p} \otimes f_{3,j} + \ldots + a_{T,p} \otimes f_{T,j} = F(A_p, E_p)$$

$$p = 1..P$$

La soluzione di tale sistema formato dalle P equazioni algebriche lineari fornisce i coefficienti $f_{i,j}$ degli NxT filtri FIR che producono

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

il segnale corrispondente all'armonica sferica prescelta.

Pertanto, la risoluzione di tale sistema è basato sia su segnali temporali che sul campionamento del campo sonoro nello spazio, per cui sia i segnali che i filtri rappresentano effettivamente un campionamento quadridimensionale nello spazio-tempo. La soluzione del sistema è pertanto ottenuta mediante inversione di una matrice spaziotemporale.

Tale procedimento consente di ottenere un filtraggio ottimale e più efficace dei segnali generati dalla sonda 10 rispetto al filtraggio delle sonde 10 ad uso aereo note.

I segnali uscenti dai trasduttori 12, allorché la sonda 10 è investita dai campi sonori di diversa direzione di provenienza, possono essere segnali effettivamente misurati, ad esempio dopo che la sonda 10 è stata realizzata ed adeguatamente collaudata in un ambiente di prova.

I segnali uscenti dai trasduttori 12 possono anche essere segnali "teorici" costruiti sulla base di semplici formule analitiche relative alla propagazione di onde piane o sferiche, ed ipotizzando i trasduttori 12 come ideali.

Infine tali segnali uscenti dai trasduttori 12,

possono essere costituiti da qualsiasi caso intermedio fra i due estremi suddetti, cioè fra segnali effettivamente misurati o teorici.

È ad esempio, possibile utilizzare la curva di risposta in frequenza e sensibilità per segnali sonori provenienti dalla direzione assiale dei trasduttori 12 che vengono poi effettivamente impiegati, misurati in laboratorio, e ipotizzare, invece, in modo teorico la dipendenza del segnale dei trasduttori 12 in funzione dell'angolo di provenienza del suono rispetto all'asse dei trasduttori 12 stessi.

Vantaggiosamente, il procedimento di calcolo della matrice di filtraggio viene effettuato nel dominio della frequenza, cioè dopo aver trasformato con la trasformata discreta di Fourier tutti i segnali campionati nel tempo.

In questo modo la convoluzione, nel dominio della frequenza si semplifica in una operazione di moltiplicazione fra componenti spettrali di pari frequenza del segnale e (della funzione di trasferimento) del filtro, ed il calcolo della matrice di filtri si ottiene con le note formule algebriche di inversione di un sistema di equazioni lineari, formule che sostanzialmente si riducono,

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

in notazione matriciale compatta, nel dominio della frequenza, alla seguente:

$$[f]=\{F\}[a]^{-1}.$$

È anche possibile introdurre nel calcolo dei filtri inversi un adeguato parametro di regolarizzazione, costituito da un numero piuttosto piccolo β, usualmente aggiunto al denominatore durante il calcolo della matrice inversa $[a]^{-1}$, in modo da evitare che, se il segnale da acquisire e poi elaborare ha una ampiezza molto piccola ad una certa frequenza, si ottenga un filtro inverso con un picco troppo elevato.

È inoltre possibile variare il valore del parametro di regolarizzazione al variare della frequenza, in modo da ottimizzare l'intervallo di frequenza in cui il filtraggio risulta accurato. Questo è possibile evitando l'inversione della matrice in corrispondenza di quelle frequenze che sono al di fuori del campo di frequenza ottimale della sonda, ad esempio a causa di limiti intrinseci dei trasduttori 12, o a causa di limiti geometrici legati al numero di trasduttori 12 impiegati e/o alla loro distanza nello spazio, in rapporto alla lunghezza d'onda.

È possibile aggiungere agevolmente una funzione

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

di filtraggio in frequenza aggiuntiva, utile ad esempio a migliorare il rapporto segnale-rumore nel campo di frequenza di interesse, o ad escludere rumori spuri di tipo tonale a specifiche e predeterminate frequenze. Resta inteso che mediante l'unità di elaborazione 26 o altri idonei mezzi di elaborazione possano essere effettuate ulteriori specifiche elaborazioni dei segnali prodotti e filtrati dalla sonda 10, in maniera da stimare in tempo reale la posizione della sorgente sonora o da riprodurre il campo sonoro tridimensionale entro una vasca o altro ambiente di ascolto subacqueo.

Rientra ancora nel presente trovato il prevedere che mediante la sonda 10 possano essere calcolati parametri fisici relativi al campo sonoro subacqueo analizzato, quali il vettore Intensità Sonora, la Densità di energia sonora, ed il rapporto fra il modulo di tali due grandezze, cioè il fattore di reattività del campo sonoro.

È ancora nello spirito del presente trovato la misurazione indiretta mediante la sonda 10 delle proprietà fisico-meccanico-acustiche di materiali, quali ad esempio il coefficiente di riflessione del fondale marino o di materiali usati per il rivestimento di imbarcazioni ad esempio ad uso

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

militare, o di grandezze oceanografiche, quali i gradienti di temperatura e salinità, la velocità delle correnti, l'ampiezza del moto ondoso, la velocità di onde di Tsunami, o altro.

È chiaro che alla sonda 10 per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale fin qui descritta possono essere apportate modifiche e/o aggiunte di parti, senza per questo uscire dall'ambito del presente trovato.

È anche chiaro che, sebbene il presente trovato sia stato descritto con riferimento ad alcuni esempi specifici, una persona esperta del ramo potrà senz'altro realizzare molte altre forme equivalenti di sonda per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale, aventi le caratteristiche espresse nelle rivendicazioni e quindi tutte rientranti nell'ambito di protezione da esse definito.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

RIVENDICAZIONI

1. Sonda per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale di un campo sonoro tridimensionale, **caratterizzata dal fatto che** comprende una pluralità di trasduttori subacquei (12) del suono, o idrofoni, in numero predeterminato, in cui la disposizione spaziale e/o la distanza dei trasduttori subacquei (12) rispetto ad un centro acustico (C) della sonda è correlata alle direzioni di provenienza e/o alle frequenze acustiche del campo sonoro da acquisire, **e che** comprende mezzi di elaborazione (26) digitali atti alla decomposizione vettoriale di detto campo sonoro tridimensionale in segnali armonici sferici, i cui coefficienti sono calcolati in base a detta disposizione spaziale dei trasduttori subacquei (12).

2. Sonda come nella rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** i trasduttori subacquei (12) sono disposti ai vertici di un poliedro regolare per acquisire il suono proveniente sostanzialmente da tutte le direzioni.

3. Sonda come nella rivendicazione 2, **caratterizzata dal fatto che** il poliedro è un tetraedro.

4. Sonda come nella rivendicazione 2,

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

caratterizzata dal fatto che il poliedro è una qualunque figura geometrica tridimensionale complessa, quale un cubo, un dodecaedro, un icosaedro.

5. Sonda come nella rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** i trasduttori subacquei (12) sono disposti ai vertici di due o più poliedri reciprocamente intersecati.

6. Sonda come nella rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** i trasduttori subacquei (12) sono disposti in modo pseudo casuale per acquisire il suono proveniente da specifiche e predeterminate direzioni e/o evitare la perdita di segnale in corrispondenza di specifiche frequenze e/o direzioni di arrivo del suono.

7. Sonda come in una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzata dal fatto che** comprende mezzi di registrazione (22,24) a più canali, ciascuno di detti canali essendo associato ad un corrispondente trasduttore subacqueo (12).

8. Sonda come nella rivendicazione 7, **caratterizzata dal fatto che** detti mezzi di registrazione comprendono un'unità di campionamento (22) ed un'unità elettronica di memorizzazione (24) collegata all'unità di campionamento (22).

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

9. Sonda come nella rivendicazione 8, **caratterizzata dal fatto che** l'unità elettronica di memorizzazione (24) è di tipo rimovibile.

10. Sonda come nelle rivendicazioni 7, 8 o 9, **caratterizzata dal fatto che** detti mezzi di elaborazione (26) sono collegati a detti mezzi di registrazione (22, 24) e comprendono una pluralità di filtri digitali atti ad elaborare i segnali provenienti dai trasduttori subacquei (12) in modo da fornire un insieme di segnali di uscita corrispondente a segnali armonici sferici di differenti ordini aventi ordine massimo in funzione del numero di trasduttori subacquei (12).

11. Sonda come nella rivendicazione 10, **caratterizzata dal fatto che** detti filtri digitali sono di tipo FIR, i cui coefficienti sono calcolati mediante un campionamento sia temporale che spaziale di segnali rilevati tramite i trasduttori subacquei (12), essendo la sonda investita da un campo sonoro noto.

12. Sonda come in una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzata dal fatto che** comprende mezzi di localizzazione e posizionamento (30) atti a direzionare in maniera voluta la sonda rispetto ad un predeterminato

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

sistema di riferimento terrestre.

13. Sonda come in una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzata dal fatto che comprende** mezzi di rilevazione di parametri fisico-chimici dell'ambiente subacqueo in cui è posizionata la sonda.

14. Sonda come nella rivendicazione 13, **caratterizzata dal fatto che** detti mezzi di rilevazione comprendono una sonda di temperatura (32).

15. Sonda come nella rivendicazione 13, **caratterizzata dal fatto che** detti mezzi di rilevazione comprendono un misuratore di salinità (34) dell'acqua.

16. Sonda come nella rivendicazione 13, **caratterizzata dal fatto che** detti mezzi di rilevazione comprendono un misuratore di profondità (36).

p. ADVANCED INDUSTRIAL DESIGN in ACOUSTIC S.r.l.
GG/SL 14.10.2009

Il mandatario
STEFANO LICI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

CLAIMS

1. Probe for underwater acoustic measurements of the vector type of a three-dimensional sound field, **characterized in that** it comprises a plurality of underwater sound transducers (12), or hydrophones, to a predetermined number, wherein the spatial disposition and/or the distance of the underwater transducers (12) with respect to an acoustic centre (C) of the probe is correlated to the directions of provenance and/or to the acoustic frequencies of the sound field to be acquired, and **in that** it comprises digital processing means (26) suitable for the vector decomposition of said three-dimensional sound field into spherical harmonic signals, whose coefficients are calculated according to said spatial disposition of the underwater transducers (12).

2. Probe as in claim 1, **characterized in that** the underwater transducers (12) are disposed at the top of a regular polyhedron to acquire the sound coming substantially from all directions.

3. Probe as in claim 2, **characterized in that** the polyhedron is a tetrahedron.

4. Probe as in claim 2, **characterized in that** the polyhedron is any complex three-dimensional

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

geometric figure, such as a cube, a dodecahedron, an icosahedron.

5. Probe as in claim 1, **characterized in that** the underwater transducers (12) are disposed at the tops of two or more reciprocally intersected polyhedrons.

6. Probe as in claim 1, **characterized in that** the underwater transducers (12) are disposed in a pseudo random way to acquire the sound coming from specific and predetermined directions and/or to prevent the loss of signal in correspondence with specific frequencies and/or directions of arrival of the sound.

7. Probe as in any claim hereinbefore, **characterized in that** it comprises recording means (22, 24) with several channels, each of said channels being associated with a corresponding underwater transducer (12).

8. Probe as in claim 7, **characterized in that** said recording means comprise a sampling unit (22) and an electronic memorization unit (24) connected to the sampling unit (22).

9. Probe as in claim 8, **characterized in that** the electronic memorization unit (24) is of the removable type.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

10. Probe as in claims 7, 8 or 9, **characterized in that** said processing means (26) are connected to said recording means (22, 24) and comprise a plurality of digital filters able to process the signals coming from the underwater transducers (12) so as to supply a set of output signals corresponding to spherical harmonic signals of different orders having a maximum order as a function of the number of underwater transducers (12).

11. Probe as in claim 10, **characterized in that** said digital filters are of the FIR type, whose coefficients are calculated by both temporal and spatial sampling of signals detected by the underwater transducers (12), the probe being struck by a known sound field.

12. Probe as in any claim hereinbefore, **characterized in that** it comprises localization and positioning means (30) able to direct the probe in a desired way with respect to a predetermined terrestrial reference system.

13. Probe as in any claim hereinbefore, **characterized in that** it comprises detection means to detect physical-chemical parameters of the underwater environment in which the probe is

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

positioned.

15. Probe as in claim 13, **characterized in that** said detection means comprise a temperature probe (32).

16. Probe as in claim 13, **characterized in that** said detection means comprise a measurer (14) to measure the salinity of the water.

17. Probe as in claim 13, **characterized in that** said detection means comprise a depth measurer (36).

for ADVANCED INDUSTRIAL DESIGN in ACOUSTIC S.r.l.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

RIASSUNTO

Sonda per misurazioni acustiche subacquee di tipo vettoriale di un campo sonoro tridimensionale, comprendente una pluralità di trasduttori subacquei (12) del suono, o idrofoni, in numero predeterminato, in cui la disposizione spaziale e/o la distanza dei trasduttori subacquei (12) rispetto ad un centro acustico (C) della sonda è correlata alle direzioni di provenienza e/o alle frequenze acustiche del campo sonoro da acquisire. La sonda comprende mezzi di elaborazione (26) digitali atti alla decomposizione vettoriale del campo sonoro tridimensionale in segnali armonici sferici, i cui coefficienti sono calcolati in base alla disposizione spaziale dei trasduttori subacquei (12).

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

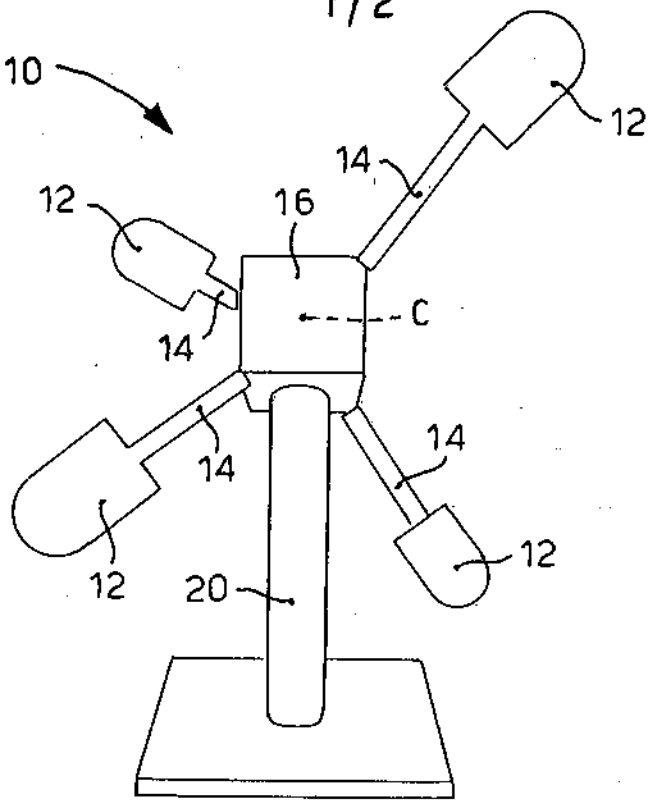

fig. 1

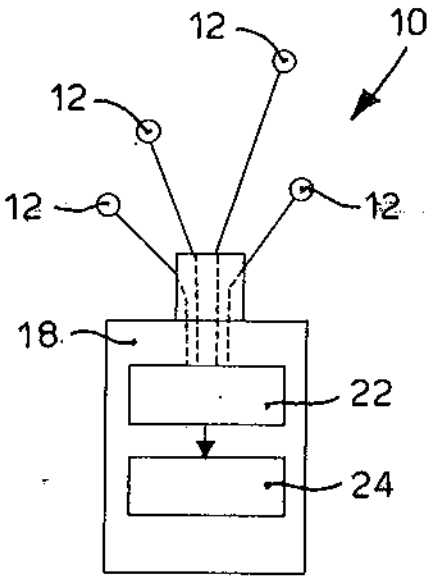

fig. 2

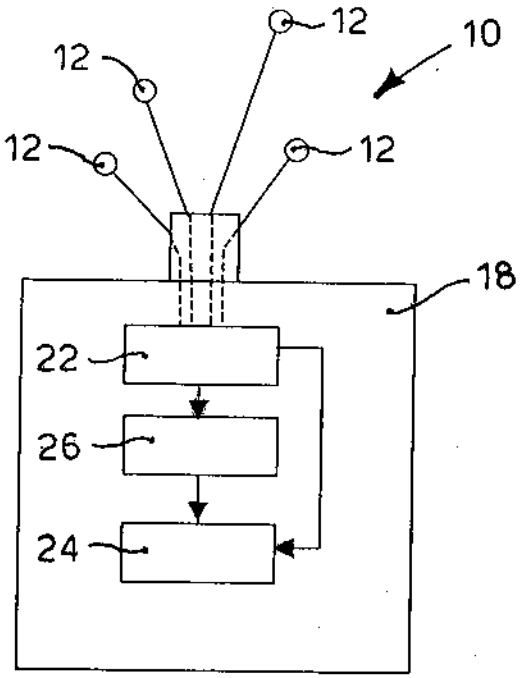

fig. 3

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sè e per gli altri)
STUDIO G.L.P. S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

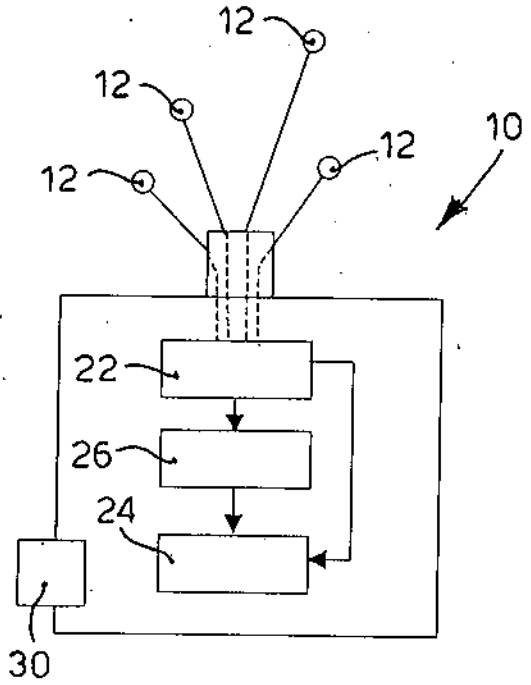

fig. 4

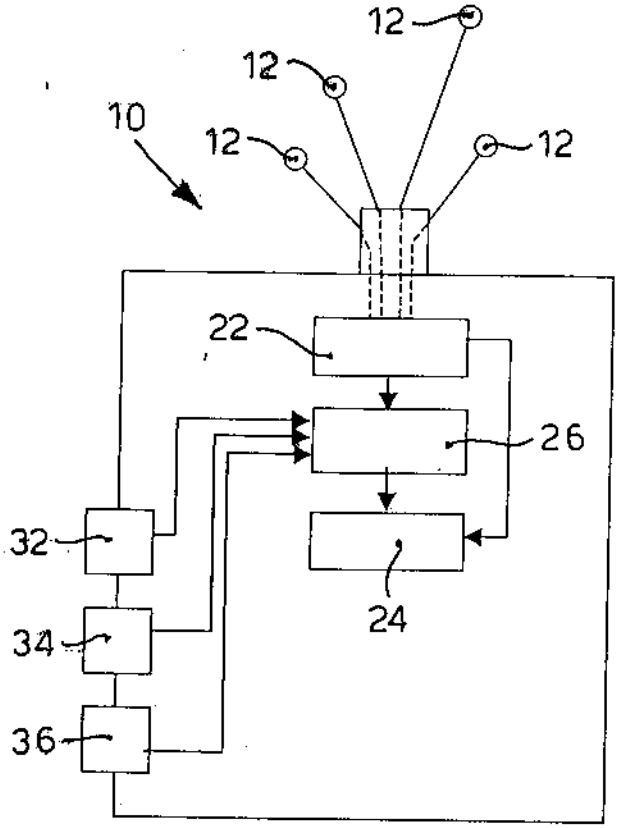

fig. 5

a_1	a_2	a_3	a_4	
f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	▶ b_1
f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}	▶ b_2
f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_{34}	▶ b_3
f_{41}	f_{42}	f_{43}	f_{44}	▶ b_4

fig. 6

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sè e per gli altri)
STUDIO G.L.P S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE