

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000029993
Data Deposito	26/11/2021
Data Pubblicazione	26/05/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	17	D	5	06

Titolo

Processo e sistema integrato di monitoraggio continuo di una condotta con fluido in pressione.
--

"Processo e sistema integrato di monitoraggio continuo di una condotta con fluido in pressione"

..*

CAMPO TECNICO

5 La presente invenzione si riferisce ad un processo e ad un sistema integrato per implementare il monitoraggio continuo da remoto di una condotta che trasporta fluidi in pressione. I fluidi trasportati possono essere anche multifase, quali ad esempio gas naturale, greggio, prodotti petroliferi, acqua, 10 CO₂, idrogeno, miscele di liquidi e gas (multifase) ed altri analoghi. Tali condotte sono impiegabili preferibilmente come gasdotti, oleodotti o acquedotti di media e lunga distanza.

TECNICA NOTA

Sono noti vari processi e sistemi di monitoraggio continuo da remoto di impianti con condotte in pressione, 15 soprattutto per rilevare, localizzare e, possibilmente, classificare eventuali punti di fuoriuscita di fluido o perdite.

Alcuni sistemi noti come Software-Based Leak Detection Systems (SW-Based LDS) (si veda American Petroleum Institute, 20 API 1130, 2002), effettuano la rivelazione di una perdita mediante elaborazioni complesse dei segnali provenienti da un set limitato di sensori in campo.

Un metodo di elaborazione noto tra i SW-Based LDS è 25 basato sulle "onde di pressione negative" (NP: Negative Pressure), in cui vengono identificate ed analizzate le variazioni negative di pressione che sono generate da una perdita e che si propagano nel fluido a partire dalla perdita stessa in entrambe le direzioni.

30 Altri metodi noti si basano su un "bilancio di massa" (MB: Mass Balance): in questo caso viene identificata una perdita mediante il monitoraggio della differenza tra la massa di fluido entrante nella tubazione in una terminazione e quella uscente dall'estremità opposta.

Un ulteriore metodo noto è basato sull'identificazione del rumore acustico (AN: Acoustic Noise) prodotto dal fluido uscente attraverso il foro di uscita della perdita.

Questi metodi sono descritti, per esempio, in Henrie,
5 Morgan et al., Pipeline Leak Detection Handbook, Elsevier, 2016.

Ciascun metodo di tipo noto generalmente misura grandezze e parametri specifici ed elabora le grandezze rilevate sulla base della peculiarità del metodo.

L'articolo "SYNERGY IN LEAK DETECTION: COMBINING LEAK
10 DETECTION TECHNOLOGIES THAT USE DIFFERENT PHYSICAL PRINCIPLES"
di Peter Y. Han, P., Kim, M., Proceedings of the 2014 10th
International Pipeline Conference, IPC2014, Canada, describe
le sinergie che si ottengono mediante l'integrazione di
sistemi di monitoraggio delle perdite basati su principi
15 fisici differenti. Il sistema ed il metodo descritto nel
brevetto statunitense US8346492B2 di Yang et al., 1° gennaio
2013, utilizzano sensori di pressione, che sono a contatto col
fluido e misurano il rumore acustico nel fluido stesso, ed
estensimetri che sono posizionati e disposti a matrice sulla
20 superficie esterna delle condotte. Una unità di elaborazione
centrale consente di elaborare i segnali acustici rilevati dai
sensori di pressione e le misure degli estensimetri e di
convalidare le eventuali perdite comparando i dati rilevati
con profili di dati storici opportunamente memorizzati. Due
25 diversi sistemi di monitoraggio sono quindi utilizzati per
sfruttare la loro complementarità ed incrementare gli scenari
anomali identificabili.

È altresì nota la domanda di brevetto statunitense
US2013066568A1 di Alonso Julio Roberto, 12 aprile 2011, in cui
30 viene descritta una elaborazione dei segnali tramite una rete
neurale artificiale e l'utilizzo di un metodo diagnostico
Acoustic Noise (AN) e di un metodo diagnostico Mass Balance
(MB) per rilevare e convalidare le perdite in una condotta. La

soluzione proposta non riporta esempi realizzativi e risulta di difficile implementazione.

È noto inoltre il brevetto statunitense US10094732B2 di Linford con titolarità Syrinix LTD, 9 ottobre 2018, che
 5 descrive un sistema per il rilevamento delle perdite nelle condotte basato su misure vibroacustiche raccolte lungo una sezione della condotta ed inviate ad una unità centrale. Quando l'unità centrale rileva una variazione della pressione compatibile con una perdita, viene analizzato anche il dato di
 10 un flussimetro (ad ultrasuoni) collegato con la stessa unità centrale che convalida o meno l'allarme. Il sistema descritto convalida i dati rilevati da un metodo del tipo Negative Pressure (NP) con i dati di flusso dei flussimetri.

Sostanzialmente, i sistemi di tipo noto propongono di
 15 utilizzare ogni metodo diagnostico in modo indipendente dagli altri e di elaborare in modo congiunto le uscite. La rilevazione di una perdita da un primo metodo viene convalidata o meno da un secondo metodo, mentre complesse strategie di scelta vengono definite quando le diverse uscite
 20 sono contrastanti tra loro.

Compito precipuo del presente trovato è quello di risolvere i problemi tecnici evidenziati eliminando gli inconvenienti di cui alla tecnica nota citata escogitando un processo ed un sistema che consente di utilizzare diversi
 25 metodi di rilevazione delle perdite per effettuare il monitoraggio continuo dell'intero impianto, ossia condotte ed attrezzature utilizzate, mediante una integrazione effettiva di dati parziali tra i vari metodi e la possibilità di rielaborare dati comuni, aumentando l'accuratezza e
 30 l'affidabilità dei dati rilevati ed altresì dei dati associati alle eventuali perdite.

Breve sommario dell'invenzione

Oggetto della presente invenzione è un processo di monitoraggio continuo da remoto di una condotta con fluido

trasportato in pressione secondo la rivendicazione 1. Altre forme di realizzazione preferite del processo sono descritte dalle rivendicazioni dipendenti.

5 Forma oggetto dell'invenzione anche un sistema integrato di monitoraggio secondo la rivendicazione 7 e secondo le rivendicazioni dipendenti.

Le caratteristiche ed i vantaggi del processo e del sistema integrato secondo la presente invenzione risulteranno dalla descrizione, fatta qui di seguito, di esempi di
10 realizzazione, dati a titolo indicativo e non limitativo con riferimento ai disegni allegati.

Breve descrizione dei disegni

In tali figure:

-la Figura 1 illustra, in una forma schematica, un
15 sistema integrato secondo la presente invenzione;

-la Figura 2 illustra, in una forma schematica e generale, alcune fasi del processo secondo la presente invenzione in una forma di realizzazione;

-le Figure 3 e 4 illustrano due rappresentazioni grafiche
20 relative a curve di ROC riferite ad un primo (LDS1) e ad un secondo metodo diagnostico di rilevamento delle perdite (LDS2);

-le Figure 5 e 6 illustrano, in modo schematico, un sistema ed un processo in una ulteriore forma di
25 realizzazione;

-la Figura 7 illustra in un unico diagramma due curve relative ai tempi di propagazione dei transienti di pressione da una stazione A ad una stazione B (t_{AB} linea tratteggiata) e viceversa (t_{BA} linea continua);

30 -la Figura 8 illustra, in forma schematica, una curva che rappresenta la relazione tra gli errori nella stima della perdita massica di fluido rispetto agli errori compiuti nella stima della velocità del suono nel fluido;

-la Figura 9 illustra alcune fasi del processo secondo la presente invenzione in una ulteriore forma di realizzazione;

5 -la Figura 10 illustra, in modo schematico, la velocità del suono in funzione del tempo in una condotta con fluido in pressione ricavata elaborando i dati di un primo e di un secondo flussimetro disposti in rispettivi punti A e B di una condotta;

10 -la Figura 11 illustra, in modo schematico, la relazione tra gli errori nella stima della densità del fluido in funzione degli errori nella stima di un parametro K;

-le Figure 12 e 13 illustrano, in modo schematico, un sistema ed un processo in una ulteriore forma di realizzazione;

15 -la Figura 14 illustra in un diagramma spazio-temporale la differenza di pressione rilevata da quattro stazioni di misura di un sistema realizzato secondo la Figura 12;

-la Figura 15 illustra la perdita di fluido stimata secondo la presente invenzione e relativa al sistema di Figura 12;

20 -le Figure 16 e 17 illustrano, rispettivamente, la differenza di pressione e la differenza di densità in funzione del tempo calcolate per un sistema realizzato secondo lo schema di Figura 12;

25 -la Figura 18 illustra una stima delle perdite o MPR - Mass Packing Rate- relative all'esempio di Figura 12.

DESCRIZIONE DETTAGLIATA

In Figura 1 è illustrato un sistema integrato 1 di monitoraggio continuo da remoto di un tratto di condotta o condotta 3, in cui un fluido 5 è trasportato in pressione. Tre stazioni di misura, 10_A, 10_B e 10_C, sono associate alla condotta 3 ed intervallate da una predefinita distanza, D_{AB} e D_{BC}. Ciascuna stazione di misura 10_A-10_C è dotata di mezzi di rilevazione quali sensori di rilevazione vibro-acustici, 6 e

7, schematicamente illustrati, adatti a misurare in continuo segnali elastici ed acustici che si propagano nella condotta 3 e segnali acustici che si propagano nel fluido 5. Ciascuna stazione di misura, 10_A-10_C, può essere sostanzialmente
5 realizzata secondo quanto descritto nella domanda internazionale N. WO2014096019A1 depositata dalla Richiedente della presente domanda. Inoltre, nella forma di realizzazione illustrata, solo le stazioni di misura, 10_A e 10_C, agli estremi del tratto AC, comprendono un flussimetro 8 come mezzo di
10 rilevazione per rilevare la portata reale della condotta 3.

Ciascuna stazione di misura, 10_A-10_C, è dotata di un sincronizzatore con un riferimento temporale assoluto, ad esempio un sistema GPS, per sincronizzare i segnali di misura rilevati e memorizzati elastici, acustici e di flusso. Quindi,
15 ciascuna stazione di misura, 10_A-10_C, genera e trasmette ad una unità di elaborazione 11 detti segnali di misura sincronizzati.

L'unità di elaborazione 11 è configurata per ricevere e per memorizzare da remoto e in continuo i segnali di misura. I
20 segnali di misura sono quindi elaborati mediante almeno due diversi metodi diagnostici di rilevamento delle perdite, LDS1 e LDS2. Tali metodi sono attivati in parallelo tra loro per determinare i rispettivi insiemi di dati, R1 e R2, relativi ad una eventuale perdita L1 di detto fluido 5 in detta condotta
25 3. I dati, R1 e R2, di rilevamento della perdita L1 possono essere, indicativamente e non limitatamente, una localizzazione o una posizione della perdita L1 nella condotta 3, una quantità sottratta di fluido 5, una dimensione del foro e/o un intervallo di tempo della perdita L1.

30 Nel caso generalizzato ed illustrato in Figura 2, esplicitato per il rilevamento delle perdite nel tratto AC di condotta 3, i metodi diagnostici attivati in parallelo sono: un primo metodo LDS1, un secondo metodo LDS2 ed un terzo metodo LDS3.

Dal processamento parallelo vengono definiti rispettivamente e separatamente primi dati R1, secondi dati R2 e terzi dati R3 relativi e caratterizzanti la perdita L1.

Un primo collegamento 14 ed un secondo collegamento 15, mono o bi-direzionali, sono configurati per trasferire dati o valori tra due fasi intermedie di processamento tra il primo metodo LDS1 ed il secondo metodo LDS2 e tra il secondo metodo LDS2 ed il terzo metodo LDS3. Opportunamente, la fase intermedia di processamento precede la fase adatta a definire i dati relativi alla perdita L1.

Il primo collegamento 14 e il secondo collegamento 15 sono configurati per confrontare e/o per trasferire da un metodo all'altro valori associati ad almeno un parametro determinato dalla sequenza di elaborazione del metodo corrispondente. Tale almeno un parametro essendo un valore associato ad una proprietà di detto fluido 5 oppure un valore determinato durante la sequenza di elaborazione di detti segnali rilevati.

Per il primo collegamento 14, mutatis mutandis per il secondo collegamento 15, tali valori sono calcolati o rilevati mediante i segnali di misura e determinati mediante il primo metodo diagnostico LDS1 o il secondo metodo diagnostico LDS2. Il primo collegamento 14 confronta valori di un medesimo parametro generando un segnale di attivazione quando viene identificato che:

- un primo valore V1, che è associato a detto almeno un parametro ed è determinato da detto primo metodo diagnostico LDS1, è diverso da
- un secondo valore V2, che è associato a detto almeno un parametro ed è determinato da detto secondo metodo diagnostico LDS2 e/o da predefiniti valori di soglia.

Il segnale di attivazione può essere, ad esempio:

- un segnale di allarme Alert generale che viene inviato e processato esternamente da una utenza finale, oppure

-un segnale di trasferimento che consente di trasferire il primo valore V1 o il secondo valore V2, mediante il primo collegamento 14 per un riprocessamento di detti segnali di misura mediante il primo metodo diagnostico LDS1 o il secondo

5 metodo diagnostico LDS2; oppure

-un segnale di rielaborazione per un riprocessamento di detti segnali di misura e detti metodi diagnostici con nuovi predefiniti valori di soglia aggiornati in funzione di detto parametro per confrontare nuovamente il parametro mediante il
10 collegamento 14.

Con la rielaborazione del metodo diagnostico, attivata da una fase intermedia di processamento, i segnali di misura ed il primo valore V1 o il secondo valore V2 trasferito vengono processati nuovamente generando nuovi dati, R1 o R2,
15 caratterizzanti la perdita L1 e/o modificando predefiniti valori di soglia. Eventuali richieste di riprocessamento o rielaborazione di dati con nuove condizioni o valori di soglia consentono di ridefinire valori di parametri identificati o calcolati. Ad esempio, richieste di riprocessamento di dati
20 con nuove condizioni di soglia possono essere attivate quando uno dei due metodi diagnostici, LDS1 e LDS2 oppure LDS2 e LDS3 nel caso del secondo collegamento 15, riesce a identificare un predefinito scenario per un intervallo sotto osservazione.

Ulteriori sensori, quali sensori di temperatura, sensori
25 di densità ed altri, non illustrati in Figura 1, possono essere associati alle stazioni di misura, 10A-10C, ed i rispettivi segnali di misura considerati nel processo.

Naturalmente, due o più primi collegamenti 14 o secondi collegamenti 15, mono o bidirezionali, possono essere previsti
30 per analizzare valori di ulteriori parametri.

Secondo una forma di realizzazione, il processo prevede di confrontare un parametro comune elaborato/calcolato da ciascun metodo diagnostico. Ciascun metodo diagnostico determinando ed associando al parametro comune un

corrispondente valore di affidabilità. Il valore di affidabilità può essere definito sulla base di una analisi statistica di rispettivi risultati storici e/o su stime statistiche di sensitività del metodo diagnostico utilizzato per definire la presenza di una anomalia.

Il sistema integrato può analizzare le prestazioni di ciascun metodo diagnostico sulla base delle cosiddette curve di ROC -Receiver Operating Characteristic-.

Nelle figure 3 e 4 sono riportate le curve di ROC nel caso in cui il primo metodo LDS1 è un metodo NP (Negative Pressure) ed il secondo metodo LDS2 è MB (Mass Balance). Come si può evincere dai diagrammi, per la condotta 3 in pressione, i due metodi diagnostici presentano sensitività e specificità diverse nelle condizioni di shut-in, curva S, e nelle condizioni di pompaggio, curva P. Per il secondo metodo MB-LDS2 la curva di shut-in S ha una sensibilità superiore rispetto alla curva di pompaggio P, viceversa per il primo metodo NP-LDS1. In tal caso quindi, i parametri correlati alla pressione hanno un valore di affidabilità maggiore per il primo metodo NP LDS1 rispetto al secondo metodo MB LDS2 e viceversa per le variabili correlate alle condizioni di shut-in curva S.

Naturalmente, possono essere impiegate tecniche statistiche diverse per definire valori di affidabilità dei parametri comuni analizzati.

Ad esempio, tecniche di tipo "machine learning", opportunamente addestrate mediante database di dati ricavati in funzione di risultati storici, possono assegnare valori di affidabilità o intervalli di incertezza diversificati ai parametri comuni determinati/calcolati da fasi intermedie e finali in ciascun metodo diagnostico, LDS1-LDS3. Le tecniche di tipo "machine learning" analizzano in modo automatico dati storici per ricavare relazioni sperimentali tra misure o segnali di misura ed uscite.

Sulla base del parametro comune processato il segnale di allarme comprende uno o più segnali relativi a:

-un avviso di deriva o di malfunzionamento di almeno uno dei sensori di rilevazione, 6 e 7, e/o dei flussimetri 8;

5 -un segnale di misura esterno a predefiniti valori di soglia, il segnale di misura comprendendo condizioni di pompaggio e/o condizioni operative di chiusura valvole di impianto e/o parametri relativi ad un valore di portata reale rispetto ad un valore virtuale.

10 Si è potuto osservare che il processo ed il sistema di monitoraggio continuo da remoto è reso più efficiente integrando e trasferendo i valori di parametri comuni tra due o più metodi diagnostici, LDS1-LDS3. Infatti, una verifica incrociata dei dati ottenuti come risultati parziali o valori
15 intermedi dei parametri comuni consente di sfruttare le diverse sensibilità tra i diversi metodi diagnostici LDS1-LDS3 per ottenere delle stime più accurate relativamente alla quantità e alla posizione della perdita. La maggiore accuratezza ottenuta permette di ridurre il numero dei
20 risultati falsi negativi consentendo di soddisfare le sempre più stringenti richieste per la sicurezza degli impianti in pressione a beneficio dell'ambiente e/o delle attività di produzione.

Nel seguito vengono descritti alcuni esempi realizzativi.

25 **Prima forma di realizzazione: esempio 1 (Fig. 5 e 6)**

Il processo ed il sistema integrato di monitoraggio vengono utilizzati per verificare il funzionamento dei flussimetri 8. Nell'esempio 1 il parametro comune è la velocità di flusso.

30 Sulla base delle curve di ROC illustrate nelle Figure 3 e 4, l'unità di elaborazione 11 utilizza il primo metodo NP-LDS1 ed il secondo metodo MB-LDS2.

Il sistema integrato 1 comprende due stazioni di misura, 10_A e 10_B , disposte ed intervallate da una predefinita distanza D_{AB} , ciascuna stazione essendo dotata di un flussimetro 8 in aggiunta ai sensori vibro-acustici 6 e 7. Il fluido 5 fluisce
 5 nella condotta 3 alla velocità di flusso v nella direzione AB. Ad entrambe le estremità della condotta 3 sono presenti dispositivi di regolazione del flusso quali ad esempio pompe, valvole, e movimento di fluido nei serbatoi che generano transienti di pressione. I transienti di pressione ed il
 10 rumore si propagano nel fluido 5 ad una velocità del suono c in entrambe le direzioni tra le due stazioni di misura, 10_A e 10_B .

L'unità di elaborazione 11, schematicamente illustrata in Figura 6, processa mediante i due diversi metodi diagnostici,
 15 NP-LDS1 e MB-LDS2, i segnali elastici, i segnali acustici e i segnali di flusso rilevati come segnali di misura, trasmessi dalle stazioni di misura, 10_A e 10_B , ed opportunamente memorizzati.

Il primo metodo LDS1-NP effettua anche una stima del
 20 canale acustico della condotta 3 nella distanza D_{AB} determinando la velocità del suono c' ed un valore di attenuazione. La stima del canale acustico della condotta 3 avviene con una tecnica di cross-correlazione tra i transienti acustici o rumore che si propagano nella condotta 3 in
 25 entrambi le direzioni e misurati dalle stazioni di misura, 10_A e 10_B .

Per effetto Doppler si ha una differenza tra una prima velocità calcolata c' - del fluido 5 nel senso del flusso e quella contro-flusso o seconda velocità calcolata c - da cui si
 30 ricava un primo valore V_1 , come valore calcolato della velocità di flusso $v_{P,AB}$ nella distanza D_{AB} .

Parallelamente, il secondo metodo MB-LDS2 analizza direttamente i segnali di misura rilevati dai flussimetri 8 ed identifica direttamente una prima velocità rilevata $v_{F,A}$, in

corrispondenza della prima stazione di misura, 10_A , ed una seconda velocità rilevata $v_{F,B}$, in corrispondenza della seconda stazione di misura, 10_B . I due valori rilevati di velocità consentono di determinare un secondo valore V_2 della velocità

5 di flusso come valore rilevato $v_{F,AB}$.

Il primo collegamento 14 confronta il primo valore V_1 calcolato con il secondo valore V_2 rilevato. Se i valori V_1 e V_2 confrontati si differenziano per un valore superiore ad un predefinito valore di soglia V_s viene generato un segnale di
10 allarme $Alert_1$ che identifica una potenziale anomalia dei flussimetri 8. Il segnale di allarme $Alert_1$ può identificare ad esempio una richiesta di taratura.

Invece, se i valori V_1 e V_2 sono sostanzialmente corrispondenti si ha una conferma del buon andamento del
15 sistema 1 e dei flussimetri 8.

La precisione sul valore effettivo della velocità di flusso del fluido 5 nella condotta 3 consente di rilevare e di quantificare le perdite in modo più accurato con notevoli vantaggi nel monitoraggio e nella rilevazione.

20 L'esempio in Figura 5 è stato realizzato utilizzando i dati reali raccolti su una condotta 3 per il trasporto di carburante per aerei con un diametro nominale di 250 mm (10") ed una distanza D_{AB} di 15640m tra le stazioni di misura. Sottoponendo all'analisi di mutua correlazione i segnali di
25 pressione memorizzati nelle stazioni di misura, 10_A e 10_B , è stato possibile risalire al ritardo di propagazione del suono t_{AB} e t_{BA} nelle due direzioni, come illustrato in Figura 7, con il fluido 5 che scorre nella direzione AB. I valori riportati in Figura 7 sono stati calcolati tra le 11:00 e le 13:00 di
30 una medesima giornata. La differenza tra le due curve t_{AB} e t_{BA} è dovuta all'effetto Doppler, mentre la variabilità di ciascuna curva t_{AB} e t_{BA} è correlata alle proprietà mutevoli del fluido 5, a causa delle variazioni della temperatura e della pressione e/o agli errori di misurazione.

Il valore medio con la deviazione standard dei ritardi di propagazione t_{AB} e t_{BA} è di:

$$t_{AB} = 13.3078 \pm 0.00078 \text{ s}$$

$$t_{BA} = 13.3390 \pm 0.0027 \text{ s}$$

5 Il primo valore V1 o velocità di flusso calcolata $v_{P,AB}$ è ottenuto dalla formula:

$$v_{PAB} = \frac{x_{AB}}{2} \left(\frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right) = 1.37 \text{ m/s} \pm 0.1 \text{ m/s}$$

10 In parallelo, con il secondo metodo MB-LDS2, i flussimetri 8 di tipo ad ultrasuoni, con una accuratezza dal $\pm 2\%$ al $\pm 5\%$ del valore misurato, forniscono direttamente la prima velocità rilevata $v_{F,A}$ e la seconda velocità rilevata $v_{F,B}$ pari a:

$$v_{F,A} = 1.44 \text{ m/s} \pm 0.03 \text{ m/s}$$

$$15 \quad v_{F,B} = 1.46 \text{ m/s} \pm 0.03 \text{ m/s}$$

Il secondo valore V2 o velocità di flusso rilevata $v_{F,AB}$ è ricavata dalla formula:

$$v_{FAB} = \frac{v_{FA} + v_{FB}}{2} = 1.45 \text{ m/s} \pm 0.03 \text{ m/s}$$

20 Pertanto, riassumendo, il blocco di processamento 12 presenta:

Metodo LDS	v_{AB} [m/s]
NP-LDS	$1.37 \pm 0.1 \text{ m/s}$
MB-LDS	$1.45 \pm 0.03 \text{ m/s}$

25 Considerate le incertezze delle misure, i valori riportati in tabella sono ritenuti confrontabili.

Vantaggiosamente, un confronto continuo della congruenza tra il primo valore V1 o valore della velocità di flusso calcolata $v_{P,AB}$ ed il secondo valore V2 o valore della velocità di flusso rilevata $v_{F,AB}$, determinati con metodi LDS diversi tra

loro, permette di evidenziare in un tempo estremamente ridotto una deriva della calibrazione dei flussimetri 8.

Le misure basate sui tempi di correlazione sono intrinsecamente indipendenti rispetto alle variazioni delle proprietà del fluido. Dalle misure rilevate con i flussimetri 5 8, sebbene anche esse basate sull'effetto Doppler (nel caso di flussimetri ad ultrasuoni), viene determinato il valore della portata massica del fluido 5, utilizzando degli ulteriori parametri che dipendono dalle proprietà del fluido. Quindi, 10 una eventuale lenta deriva tra i valori della velocità di flusso misurata dal primo metodo diagnostico NP-LDS1 e dal secondo metodo diagnostico MB-LDS2 può essere stimata e compensata, mediante il primo collegamento 14. Questo garantisce migliori prestazioni nella stima del bilancio di 15 massa anche con flussimetri 8 non calibrati.

Per completezza si riportano i dati relativi ad una stima di sensitività, nel processo di monitoraggio nel caso di una perdita di fluido, tra la misura della massa uscente da un foro di perdita e la velocità del flusso, come illustrato in 20 Figura 8.

Partendo da uno scenario in cui:

v_{AB}	1.4	m/s	Velocità di flusso di ingresso
$\dot{m}_L$	1	kg/s	Perdita del fluido

Si considerano due situazioni in cui la stima della 25 velocità del flusso del fluido 5 ha distribuzione gaussiana ed una deviazione standard di 10 mm/s nel primo caso e di 2 mm/s nel secondo caso.

La deviazione standard σ_{m_L} della portata massica della perdita può essere calcolata in funzione della deviazione 30 standard di una velocità di flusso σ_{v_A} , mediante la formula:

$$\sigma_{m_L} = \rho A \sigma_{v_A}$$

I risultati sono:

	v_{fs} [mm/s]	$\dot{m}_s$ [kg/s]
Caso 1	10	0.44
Caso 2	2	0.087

5

Da tali dati è possibile confermare che l'accuratezza della stima della massa uscente è strettamente collegata alla accuratezza della stima della velocità di flusso del fluido 5.

Seconda forma di realizzazione: esempio 2 (Fig. 9)

10

Il processo ed il sistema di monitoraggio con processamento integrato vengono utilizzati per una stima della densità del fluido 5 mediante l'analisi della velocità del suono. Nel presente esempio, come illustrato in Figura 9, l'unità di elaborazione 11 utilizza il primo metodo diagnostico NP-LDS1 ed il secondo metodo diagnostico MB-LDS2. Il primo collegamento 14 analizza come parametro comune la velocità del suono. Inoltre, in tale esempio, si fa riferimento alle curve di ROC illustrate nelle Figure 3 e 4.

15

In modo analogo alla prima forma di realizzazione, il primo metodo NP-LDS1 stima il canale acustico della condotta 3 sfruttando i transienti di pressione e rumore che si propagano in entrambe le direzioni tra le due stazioni di misura, 10_A e 10_B. Quindi, viene calcolato il primo valore V1 della velocità del suono $c'_{P,AB}$ interna alla condotta 3 mediante la formula:

20

25

$$c'_{P,AB} = \frac{x_{AB}}{2} \left(\frac{1}{t_{AB}} + \frac{1}{t_{BA}} \right) \quad (1)$$

Parallelamente, il secondo metodo diagnostico MB-LDS2 da ciascun flussimetro 8 rileva le velocità effettive del suono, $c_{F,A}$ e $c_{F,B}$, calcolando la loro media

$$c_F = [c_{F,B} + c_{F,A}] / 2.$$

30

Le velocità effettive sono le velocità in un mezzo libero che sono legate alla velocità del suono c'_F nel tratto AB di fluido 5, all'interno della condotta 3, dalla formula:

$$c'_F = \sqrt{\frac{c_F^2}{1 + Kc_F^2}} \quad (2)$$

In cui il parametro K è data da:

$$K = \frac{\rho D}{h E} \quad (3)$$

5 E è il modulo di Young del materiale della condotta 3
che, per l'acciaio, è pari a 203 GPa;

h è lo spessore della condotta 3;

D è il diametro interno della condotta 3.

Il primo collegamento 14 utilizza nella equazione (2) la
10 media c_F delle velocità rilevate del suono, $c_{F,A}$ e $c_{F,B}$,
ricavando il valore del parametro K

$$K = 1.48 \times 10^{-7} \text{ s}^2/\text{m}^2.$$

Quindi, definito il valore del parametro K è possibile
calcolare il valore della densità del fluido trasportato
15 mediante la formula (3):

$$\rho = \frac{K h E}{D} = 731 \text{ kg/m}^3$$

Per completezza in Figura 11 si riporta una stima della
sensitività tra la densità del fluido interno 5 ed il
20 parametro K , in cui vengono considerate due situazioni
distinte nelle quali la stima del parametro K ha distribuzione
gaussiana e deviazione standard di $10 \text{ ns}^2/\text{m}^2$ nel primo caso e
di $2 \text{ ns}^2/\text{m}^2$ nel secondo caso.

La deviazione standard della densità σ_ρ può essere
25 calcolata come una funzione della deviazione standard del
parametro K secondo la relazione:

$$\sigma_\rho = \frac{\sigma_K h E}{D}$$

ed ottenendo i seguenti risultati:

30

	$\sigma_K [\text{ns}^2/\text{m}^2]$	$\sigma_\rho [\text{kg/m}^3]$
Caso 1	10	49
Caso 2	2.0	9.9

Da tali dati è possibile confermare che l'accuratezza della stima della densità del fluido è strettamente collegata alla accuratezza della stima del parametro K. L'integrazione di NP-LDS1 ed MB-LDS2 a livello intermedio tramite il primo
 5 collegamento 14 consente di ottenere una misura sperimentale accurata, continua ed in tempo reale del parametro K.

Terza forma di realizzazione: esempio 3 (Fig. 12-13)

Nella presente forma di realizzazione, il sistema integrato 1 presenta quattro stazioni di misura, 10_A-10_D ,
 10 disposte in un tratto AD della condotta 3, con una distanza complessiva D_{AD} di circa 31.14Km ed intervallate da circa 10 Km. Tutte le stazioni di misura, 10_A-10_D sono dotate di sensori di segnali vibro-acustici, 6 e 7, e le stazioni di misura 10_A e 10_D alle estremità della distanza AD sono dotate altresì di
 15 flussimetri 8.

Il processo ed il sistema integrato di monitoraggio vengono utilizzati per verificare la presenza di una perdita L1 di fluido 5 che nell'esempio è localizzata tra due stazioni 10_C e 10_D .

20 Vengono processati in modo continuo e parallelamente i segnali rilevati e ricevuti dall'unità di elaborazione 11 mediante due metodi diagnostici LDS1 e LDS2. Il primo metodo diagnostico NP-LDS1 è Negative Pressure, mentre il secondo metodo diagnostico MB-LDS2 è del tipo Mass Balance utilizzando
 25 la tecnica "Real Time Transient Model" RTTM descritta in Henrie, Morgan, et al. Pipeline Leak Detection Handbook, Elsevier, 2016.

Il primo metodo diagnostico NP-LDS1 analizza i segnali elastici ed acustici rilevati dai sensori, 6 e 7, di ciascuna
 30 delle quattro stazioni di misura, 10_A-10_D , e determina i primi dati R1 di rilevamento della perdita L1. Il primo metodo diagnostico NP-LDS1 definisce come primo valore V1 una localizzazione o posizione della perdita L1.

Nel grafico di Figura 14, sono evidenziate con le frecce, a-b e a'-b', le differenze di pressione rilevate da ciascuna stazione di misura, 10_A-10_D , a seguito della perdita L1.

Parallelemente, il secondo metodo MB-RTTM-LDS2 riceve in
 5 ingresso i segnali acustici e i segnali di flusso rilevati dai flussimetri 8 delle stazioni di misura terminali, 10_A e 10_D , ed i valori della pressione e della temperatura e determina i secondi dati R2 di rilevamento della perdita L1. Dai valori della pressione viene ricavata la velocità di flusso del
 10 fluido 5.

Il secondo metodo diagnostico MB-RTTM-LDS2 consente di stimare la posizione della perdita L1 sulla base della variazione di pressione prodotta dalla perdita L1 e rilevata dalle stazioni terminali, 10_A e 10_D , della distanza complessiva
 15 D_{AD} .

Considerando come parametro comune il valore della pressione, il collegamento 14 confronta il secondo valore V2 o valore diretto della pressione misurato dai flussimetri 8 con il primo valore V1 o valore indiretto calcolato con la misura
 20 simulata attraverso il primo metodo NP-LDS1.

Tale collegamento 14 determina quindi un valore di incertezza che genera un segnale di attivazione come segnale di rielaborazione confrontando un ulteriore parametro.

Opportunamente, il primo collegamento 14 consente di
 25 condividere tra il primo metodo NP-LDS1 ed il secondo metodo MB-RTTM-LDS2 due o più parametri correlati al fluido 5 e correlate ai primi dati R1 e ai secondi dati R2 di rilevamento della perdita L1. I primi dati R1 e i secondi dati R2 consentono di definire scenari e parametri relativi
 30 all'eventuale perdita L1, quali ad esempio localizzazione e quantità della massa di fluido fuoriuscita e scenari quali rottura della condotta 3 per usura e per sottrazione da parte di terzi.

In tal modo, ciascun metodo può rielaborare i dati ed i valori del parametro comune memorizzati in funzione di specifici valori di soglia, ottimizzando i parametri comuni in relazione ad uno scenario individuato dai corrispondenti primi
 5 dati R1 di rilevamento della perdita L1 e secondi dati R2 di rilevamento della perdita L1.

Nel presente esempio, il secondo metodo MB-RTTM LDS2 definisce la localizzazione della perdita L1 sostanzialmente con un'accuratezza di stima chilometrica. Tale accuratezza è
 10 estremamente bassa e riduce l'affidabilità del valore stimato della massa fluidica uscente. Per contro, la localizzazione della perdita L1 eseguita mediante il primo metodo diagnostico NP-LDS1 ha una precisione metrica.

In tal modo, il valore di affidabilità associato alla
 15 localizzazione della perdita L1 del primo metodo diagnostico NP-LDS1 è maggiore del valore del secondo metodo MB-RTTM LDS2. Vantaggiosamente, quindi, tramite il primo collegamento 14 il primo valore V1' della posizione stimata dal primo metodo NP-LDS1 viene trasferito al secondo metodo MB-RTTM LDS2 che
 20 riprocesa i valori/dati e le simulazioni effettuate determinando nuovi risultati R2' ricalcolando la posizione della perdita L1.

In modo analogo, ulteriori valori di parametri comuni identificati e collegati alla perdita L1 possono essere
 25 trasferiti al primo metodo NP-LDS1 al secondo metodo MB-RTTM-LDS2 in relazione al valore di affidabilità.

Nello specifico dell'esempio 3, il problema di stima della massa uscente è ora meglio vincolato e quindi il risultato ottenuto è più preciso e più affidabile. In una
 30 forma di realizzazione, il valore del flusso di massa $Q_m(t)$ della perdita in funzione del tempo viene calcolato secondo la formula:

$$Q_m(t) = \frac{dP(t) A_p}{c'}$$

in cui: $-dP$ è la differenza di pressione in funzione del tempo tra l'interno e l'esterno della condotta 3;

$-A_P$ è l'area della sezione trasversale della condotta 3;

$-c'$ è la velocità misurata del suono interno alla condotta 3.

5 La posizione accurata della perdita $L1$ trasferita mediante il collegamento 14 dal primo metodo diagnostico NP-LDS1 al secondo metodo diagnostico MB-RTTM-LDS2 permette di integrare il processo rielaborando i segnali ricevuti ed i dati/valori dei parametri trasferiti migliorando i risultati
10 ottenuti. Ad esempio, come indicato nel grafico di Figura 16, viene migliorata la rappresentazione del campo di pressione in funzione del tempo lungo la distanza complessiva D_{AD} . Inoltre, anche la rappresentazione della differenza di densità del fluido 5 in funzione del tempo viene migliorata, come indicato
15 nel grafico di Figura 17. In entrambe le rappresentazioni, la posizione $p1$ della perdita $L1$ è indicata con linea tratteggiata.

In una ulteriore forma di realizzazione, il collegamento 14 può trasferire dal secondo metodo MB-RTTM-LDS2 al primo
20 metodo NP-LDS1 il valore del parametro MPR o Mass Packing Rate, come illustrato in Figura 18. Il parametro MPR consente di fornire una stima della massa della perdita m_{leak} in funzione della massa di bilancio del flusso MFB, secondo la formula:

$$\dot{m}_{leak}(t) = MFB(t) - MPR(t)$$

25 Il grafico illustrato in Figura 18 permette di evidenziare due picchi, uno negativo ed uno positivo, del valore del parametro MPR che avvalora e conferma i tempi di inizio e fine della perdita.

Gli esempi illustrati sono riportati a titolo indicativo
30 e non limitativo. Ulteriori processi e sistemi possono essere realizzati processando segnali di misura mediante metodi diagnostici diversi da quelli illustrati. Ad esempio, si può utilizzare il metodo diagnostico di emissioni acustiche o

Acoustic Noise in combinazione con il metodo diagnostico di bilanciamento di massa o Mass Balance e/o di pressioni negative o il Negative Pressure o altri.

Un vantaggio del processo e del metodo implementato secondo la presente invenzione è legato alla possibilità
5 evidenziata che i diversi metodi diagnostici si scambino, iterativamente ed in sequenza, tramite uno o più collegamenti, i risultati parziali ottimizzati per un definito scenario in esame, e con iterazioni continue vi sia una convergenza verso
10 una stima dei valori ottenuti dei parametri comuni. Tali parametri comuni risultano quindi congrui tra loro e sempre più precisi.

Il processo ed il sistema integrato secondo la presente invenzione permettono lo scambio e la verifica di risultati e
15 di informazioni intermedie, prima della definizione della perdita, nonché la possibilità di variare in modo dinamico e adattativo i valori dei parametri comuni tra le fasi di processamento di ogni metodo diagnostico in funzione dei risultati parziali ottenuti da altri metodi diagnostici.

Un ulteriore vantaggio del processo e del sistema secondo la presente invenzione è la determinazione e la comparazione incrociata di medesimi parametri ottenuti da diversi metodi
20 diagnostici partendo da medesimi segnali di misura. Questo permette uno scambio di dati/valori e/o informazioni ed anche segnali e funzioni a livello intermedio rispetto
25 all'elaborazione dell'allarme, consentendo rielaborazioni di dati che permettono di ottenere stime più affidabili dei parametri e degli allarmi.

Il processo ed il sistema descritti consentono di
30 ridurre in modo significativo i cosiddetti risultati falsi negativi o falsi positivi, di riprocessare eventi dubbi e di sfruttare le migliori prestazioni associate ad ogni metodo diagnostico.

RIVENDICAZIONI

1. Processo di monitoraggio continuo di una condotta (3) con fluido (5) trasportato in pressione che prevede di:

- acquisire in continuo segnali di misura mediante almeno
5 un mezzo di rilevazione (6, 7, 8) che è associato a detta condotta (3);

- trasmettere in continuo detti segnali di misura ad una unità di elaborazione (11);

10 - processare in continuo detti segnali di misura mediante un primo metodo diagnostico (LDS1) di rilevamento delle perdite per definire una perdita (L1) di detto fluido (5);

caratterizzato dal fatto di:

15 - processare parallelamente detti segnali di misura mediante almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3) per definire detta perdita (L1);

20 - prevedere almeno un collegamento (14, 15) mono o bidirezionale tra una fase intermedia di processamento di detto primo metodo diagnostico (LDS1) ed una fase intermedia di processamento di detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3), detta fase intermedia di processamento precedendo la fase atta a definire detta perdita (L1);

25 - detto almeno un collegamento (14, 15) essendo configurato per confrontare e/o per trasferire un primo valore (V1) associato ad almeno un parametro comune determinato da detto primo metodo diagnostico (LDS1) ed un secondo valore (V2) associato a detto parametro comune determinato da detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3);

30 - generare un segnale di attivazione quando detto collegamento (14, 15) identifica che detto primo valore (V1) è diverso da detto secondo valore (V2) e/o da predefiniti valori di soglia;

detto segnale di attivazione essendo:

-un segnale di allarme (Alert), oppure

-un segnale di trasferimento per trasferire detto primo

valore (V1) o detto secondo valore (V2) mediante detto collegamento (14, 15) per un riprocessamento di detti segnali di misura mediante detto primo metodo diagnostico (LDS1) o detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3);

5 oppure

-un segnale di rielaborazione per un riprocessamento di detti segnali di misura mediante detto primo metodo diagnostico (LDS1) e/o detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2-LDS3) con detti predefiniti valori di soglia
10 aggiornati in funzione di detto parametro comune.

2. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di:

- associare a detto almeno un parametro comune un valore di affidabilità;

15 - correlare detto valore di affidabilità di detto almeno un parametro comune a detto mezzo di misura o a detto metodo diagnostico (LDS1-LDS3) utilizzato per determinare detto almeno un parametro comune.

3. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto almeno un collegamento (14, 15) prevede
20 di:

- confrontare un valore di affidabilità di detto almeno un parametro comune determinato da detto primo metodo (LDS1) con un valore di affidabilità di detto almeno un parametro
25 comune determinato da detto almeno un secondo metodo (LDS2, LDS3); e

- trasferire detto almeno un parametro comune con il valore di affidabilità maggiore tra detto primo metodo diagnostico (LDS1) e detto almeno un secondo metodo
30 diagnostico (LDS2, LDS3).

4. Processo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto di assegnare detto valore di affidabilità di detto almeno un parametro comune sulla base di analisi statistiche

(ROC) di rispettivi risultati storici e/o su stime statistiche di sensitività di detto metodo diagnostico (LDS1-LDS3) e/o dal fatto che dette stime statistiche di sensitività di detto metodo diagnostico (LDS1-LDS3) utilizzano tecniche di machine learning con un addestramento mediante database di dati ricavati in funzione di dati o risultati storici.

5. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto segnale di allarme comprende uno o più segnali relativi a:

10 -un avviso di deriva o di malfunzionamento di almeno uno di detti mezzi di rilevazione, detto almeno un mezzo di rilevazione essendo un sensore vibroacustico (6, 7) e/o un flussimetro (8);

15 -un segnale di misura esterno a predefiniti valori di soglia, detto segnale di misura comprendendo condizioni di pompaggio e/o condizioni operative di chiusura valvole di impianto, e/o parametri relativi ad un valore di portata reale rispetto ad un valore virtuale.

6. Processo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di prevedere due o più stazioni di misura (10_A-10_C) ed almeno un corrispondente mezzo di rilevazione, ciascuna stazione di misura (10_A-10_C) essendo configurata per ricevere e per sincronizzare detti segnali di misura con un riferimento temporale assoluto e per inviare segnali di misura sincronizzati a detta unità di elaborazione (11).

7. Sistema integrato di monitoraggio continuo di una condotta (3) con fluido (5) trasportato in pressione che comprende:

30 -due o più stazioni di misura (10_A-10_D) dotate di almeno un mezzo di rilevazione (6, 7, 8), dette due o più stazioni di misura (10_A-10_D) essendo configurate per rilevare in continuo segnali di misura emessi da detto almeno un mezzo di rilevazione (6,7,8) e per trasmettere detti segnali rilevati

ad una unità di elaborazione (11);

-detta unità di elaborazione (11) che è configurata per elaborare detti segnali di misura mediante un primo metodo diagnostico (LDS1) in modo tale da definire una perdita (L1)

5 di detto fluido (5);

caratterizzato dal fatto che:

-detta unità di elaborazione (11) è ulteriormente configurata per processare parallelamente detti segnali di misura mediante almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2,

10 LDS3) per definire detta perdita (L1);

-detta unità di elaborazione (11) prevedendo almeno un collegamento (14, 15) mono o bidirezionale tra una fase intermedia di processamento di detto primo metodo diagnostico (LDS1) ed una fase intermedia di processamento di detto almeno
15 un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3), dette fasi intermedie di processamento precedendo la fase atta a definire detta perdita (L1),

-detto almeno un collegamento (14, 15) essendo configurato per confrontare e/o per trasferire un primo valore
20 (V1) associato ad almeno un parametro comune determinato da detto primo metodo diagnostico (LD1) ed un secondo valore (V2) associato a detto parametro comune determinato da detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3),

-detta unità di elaborazione (11) prevedendo di generare
25 un segnale di attivazione quando detto primo valore (V1) è diverso da detto secondo valore (V2) e/o da predefiniti valori di soglia;

detto segnale di attivazione essendo:

-un segnale di allarme (Alert1), oppure

30 -un segnale di trasferimento per trasferire detto primo valore (V1) o detto secondo valore (V2) mediante detto collegamento (14, 15) generando un riprocessamento di detti segnali di misura mediante detto primo metodo diagnostico (LDS1) e/o detto secondo metodo diagnostico (LDS2); oppure

-un segnale di rielaborazione per un riprocessamento di detti segnali di misura mediante detto primo metodo diagnostico (LDS1) e/o detto secondo metodo diagnostico (LDS2-LDS3) con detti predefiniti valori di soglia aggiornati in
5 funzione di detto parametro comune.

8. Sistema integrato secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto almeno un mezzo di rilevazione comprende un sensore vibro-acustico (6,7) o un flussimetro (8) e/o dal fatto che dette due o più stazioni di
10 misura (10_A-10_D) sono configurate per rilevare in continuo e per sincronizzare con un riferimento temporale assoluto detti segnali di misura rilevati.

9. Sistema integrato secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detta unità di elaborazione (11)
15 seleziona detto primo metodo diagnostico (LDS1) e detto almeno un secondo metodo diagnostico (LDS2, LDS3) tra un metodo di onde di pressione negative (NP), un metodo di bilancio di massa (MB) ed un metodo di emissioni acustiche o acoustic noise.

20 10. Sistema integrato secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto segnale di allarme (Alert) emesso da detta unità di elaborazione (11) comprende uno o più segnali relativi a:

- un avviso di deriva o malfunzionamento di almeno uno di
25 detti mezzi di rilevazione, detti mezzi di rilevazione comprendendo un sensore di rilevazione (6, 7) e/o un flussimetro (8);

-un segnale di misura esterno a predefiniti valori di soglia, detto segnale di misura comprendendo condizioni di
30 pompaggio e/o condizioni operative di chiusura valvole di impianto, e/o parametri relativi ad un valore di portata reale rispetto ad un valore virtuale.

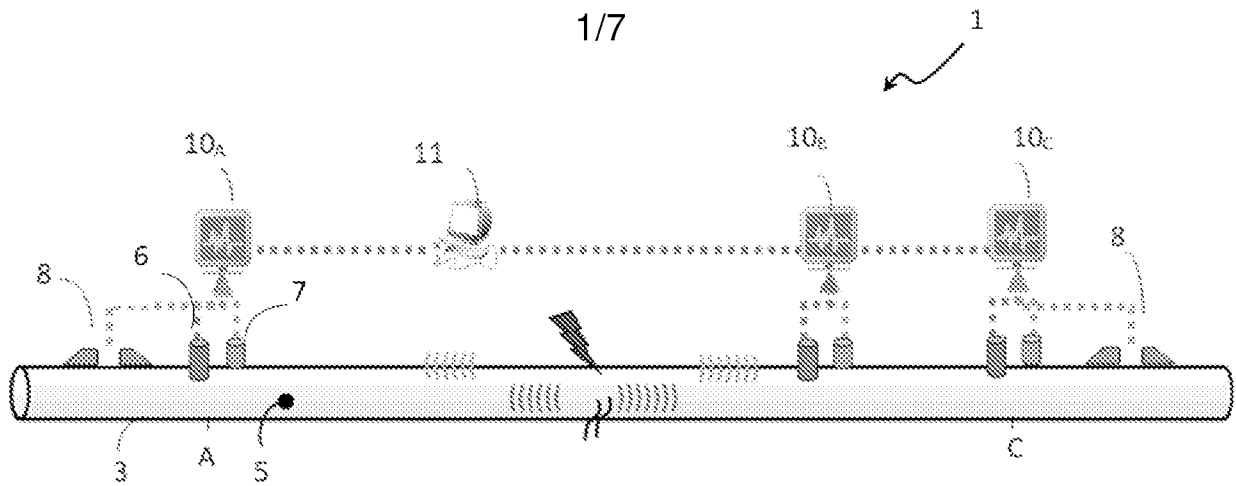


Fig. 1

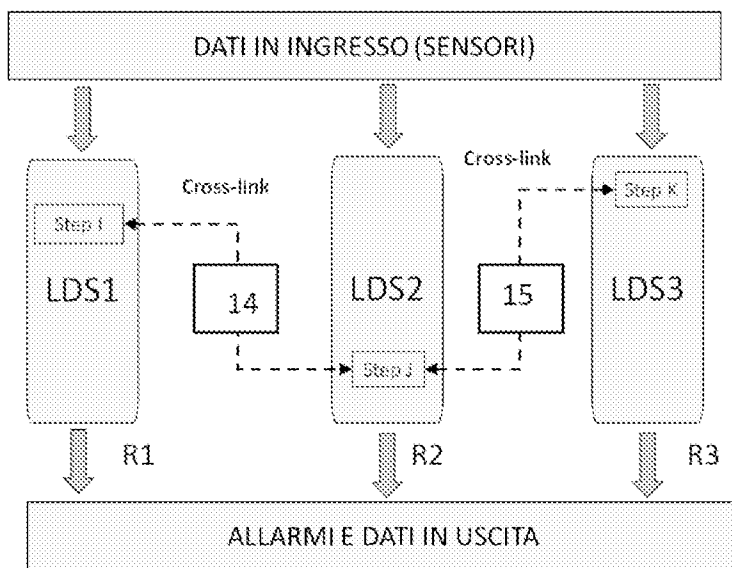
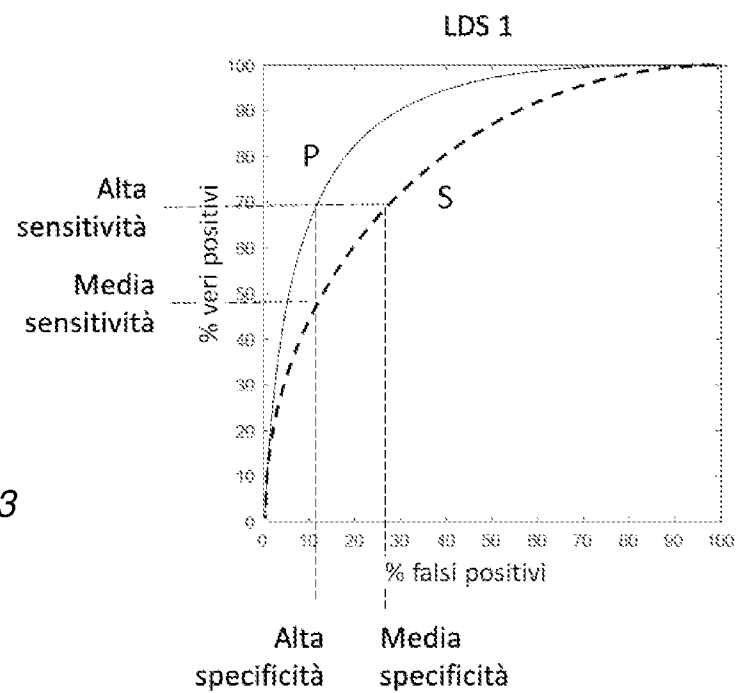


Fig. 2

Fig. 3



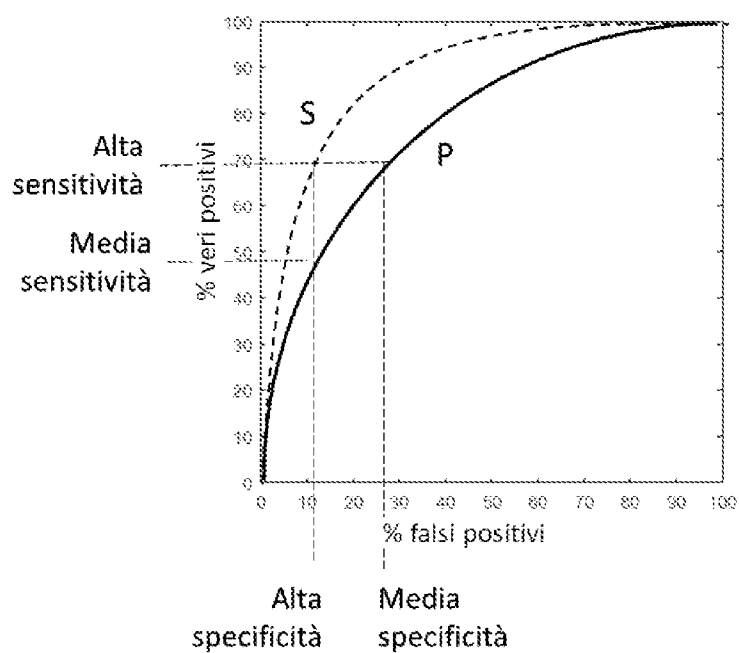


Fig. 4

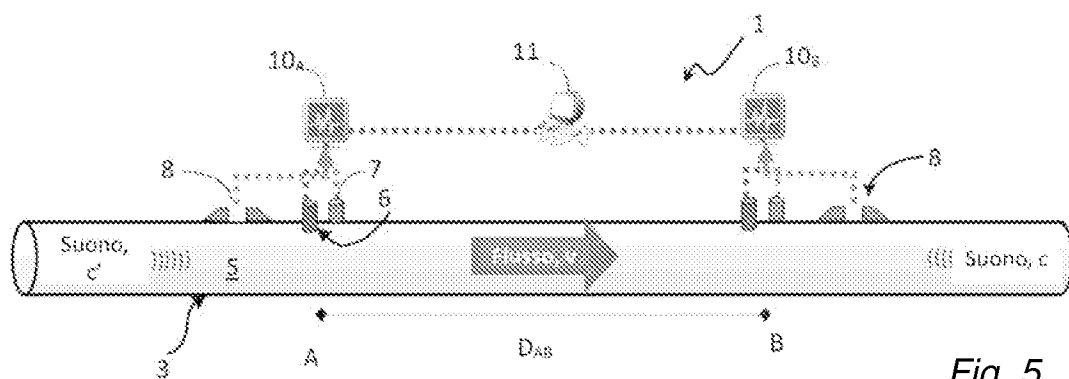


Fig. 5

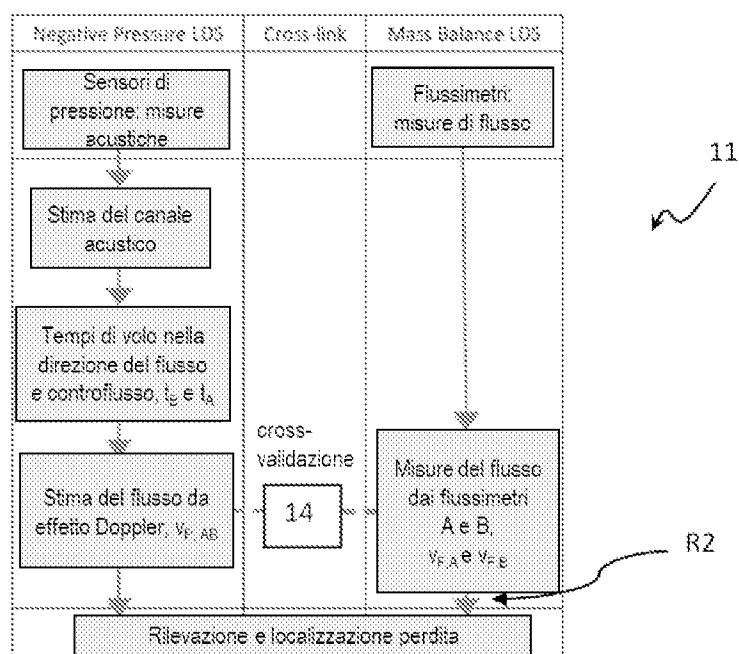


Fig. 6

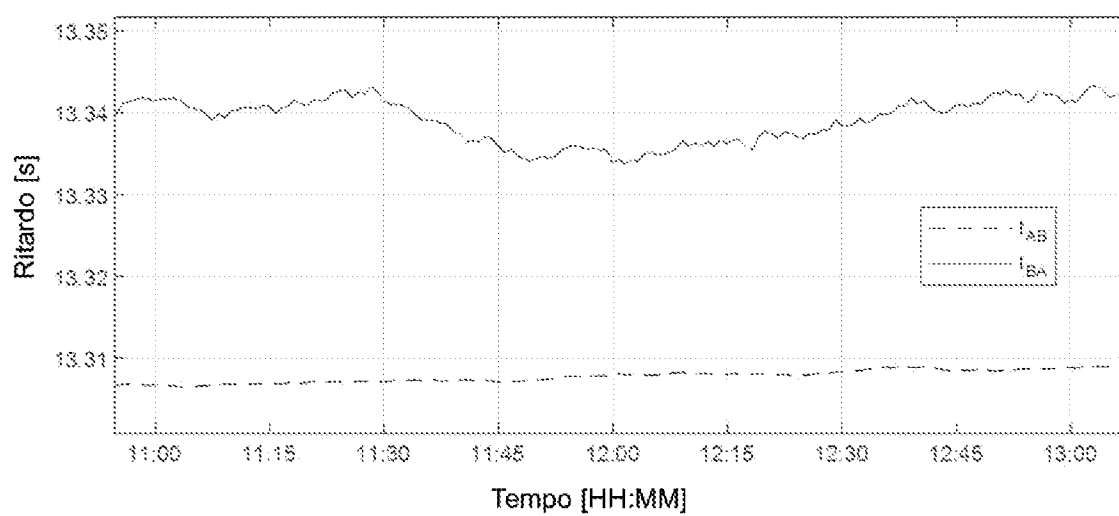


Fig. 7

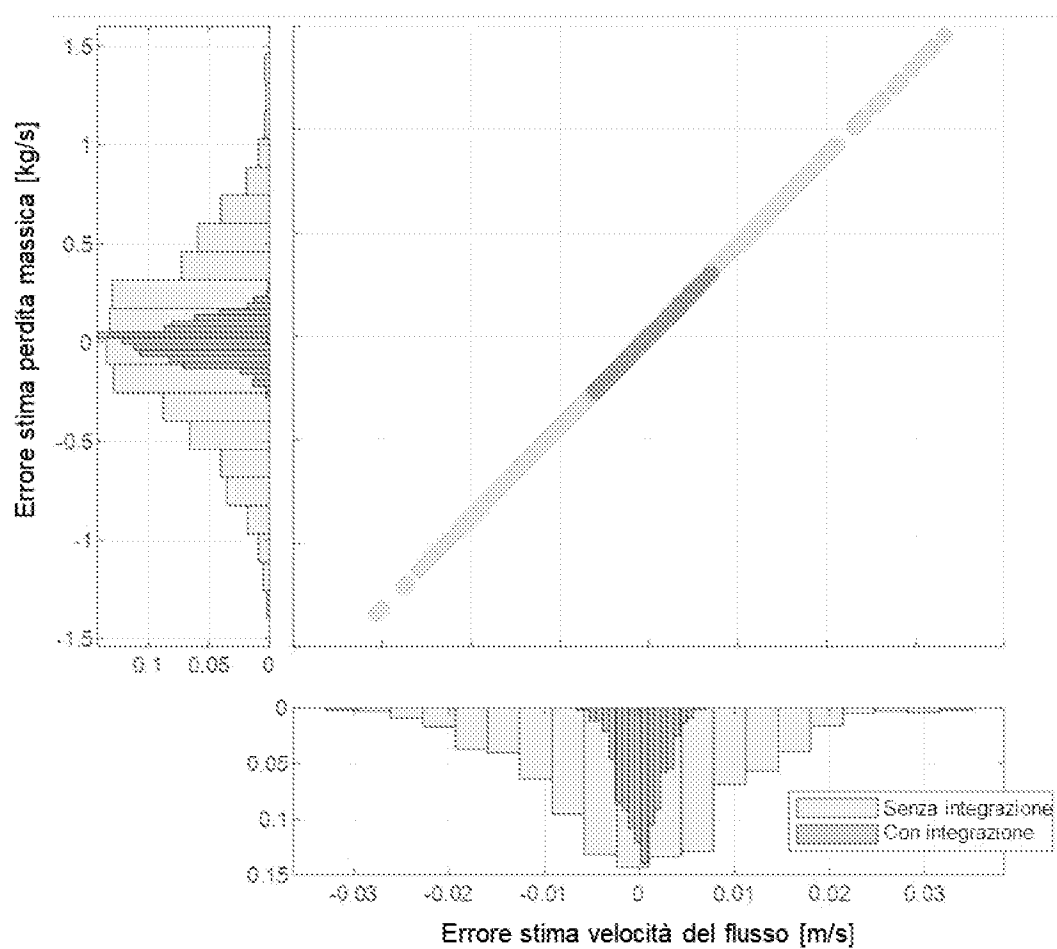


Fig. 8

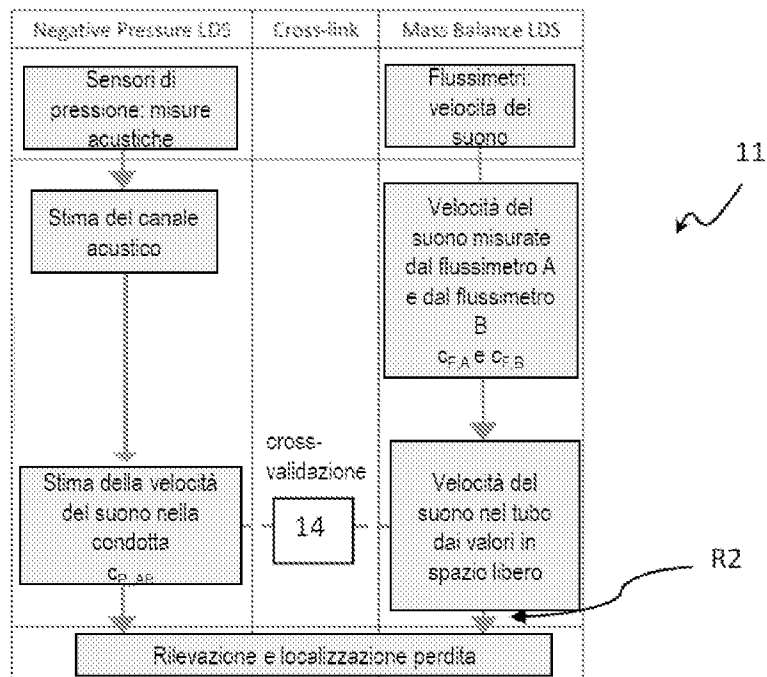


Fig. 9

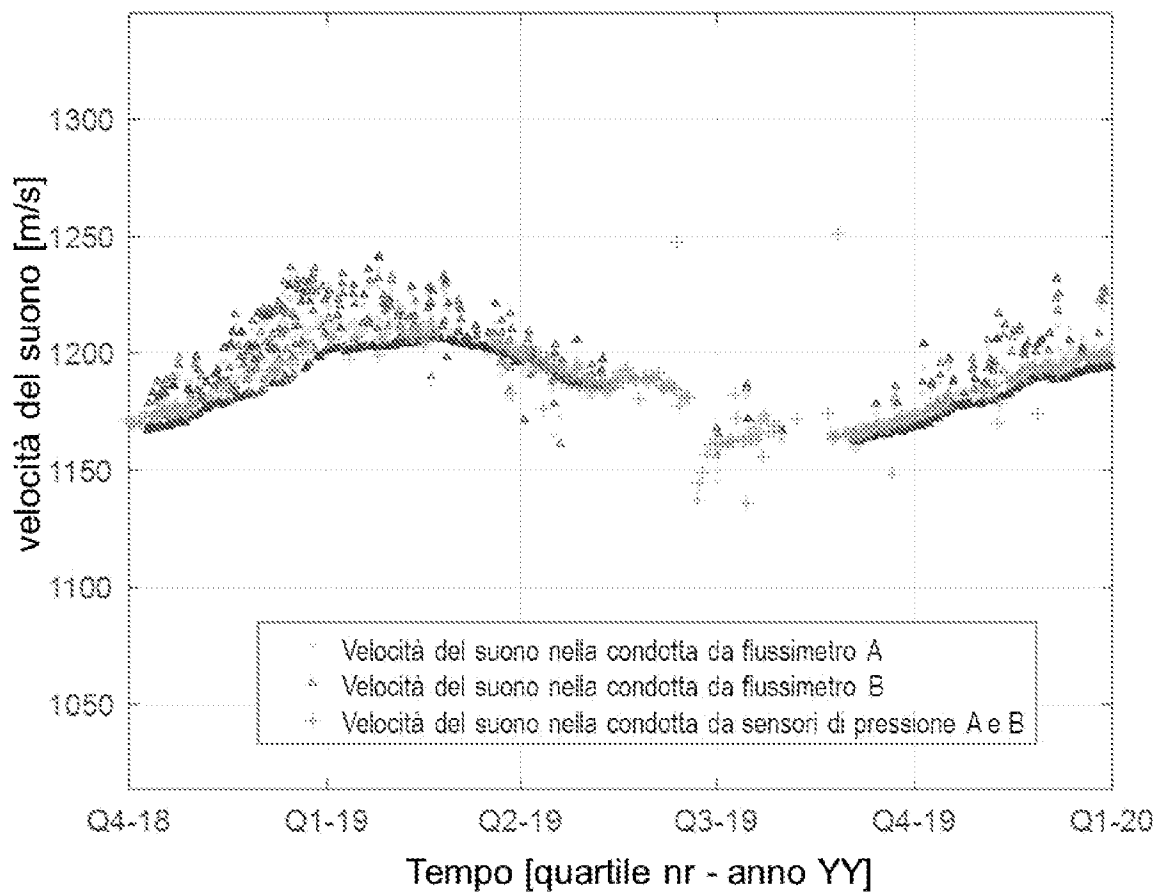


Fig. 10

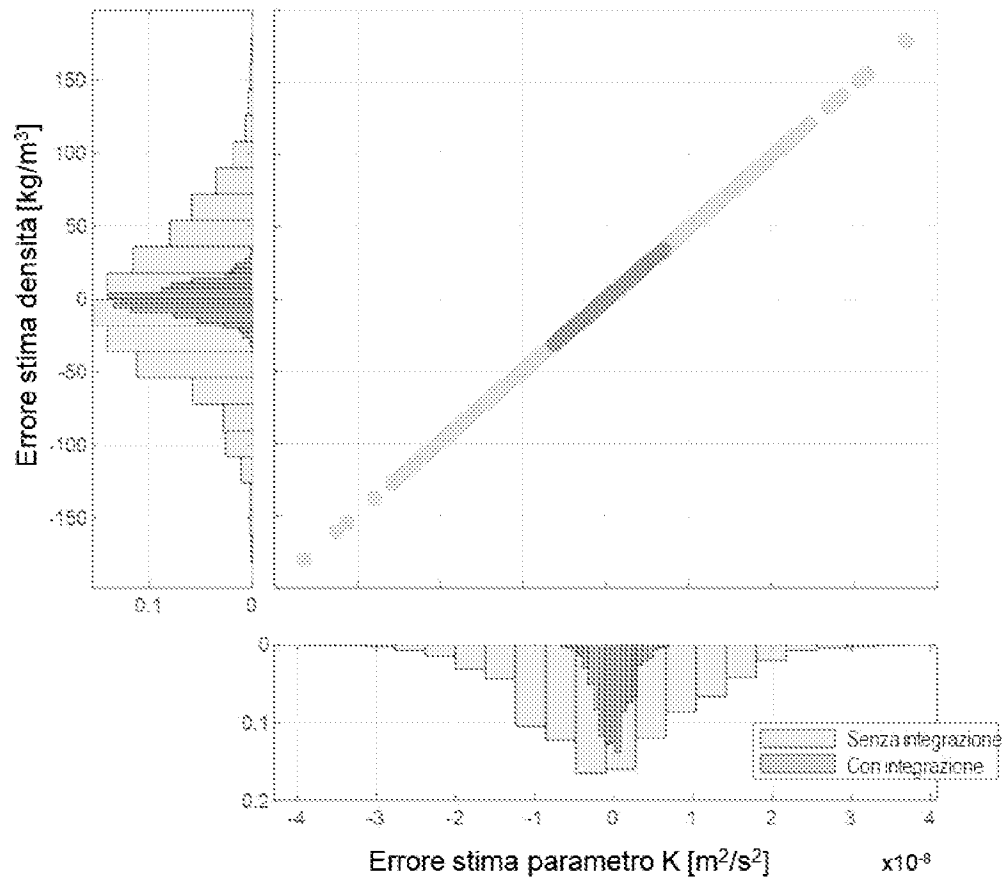


Fig. 11

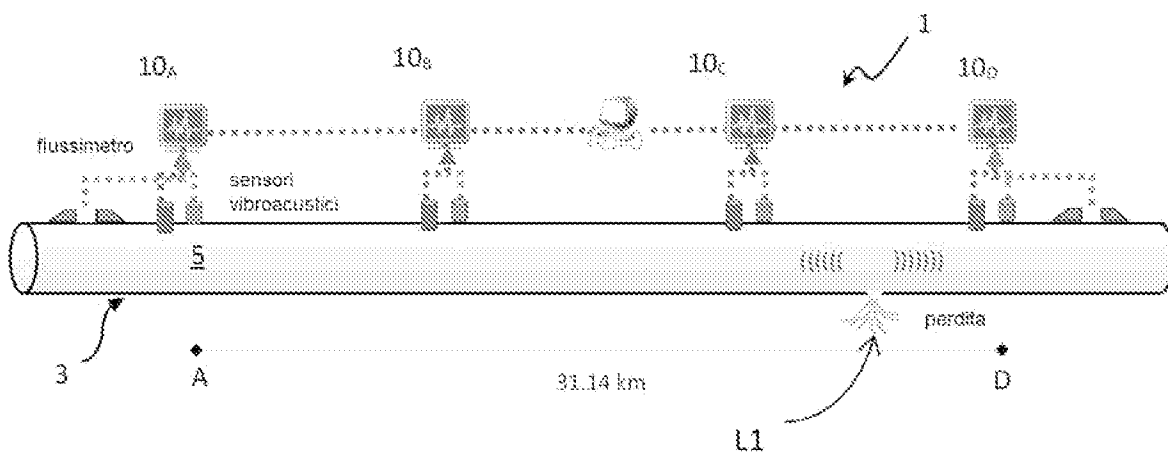


Fig. 12

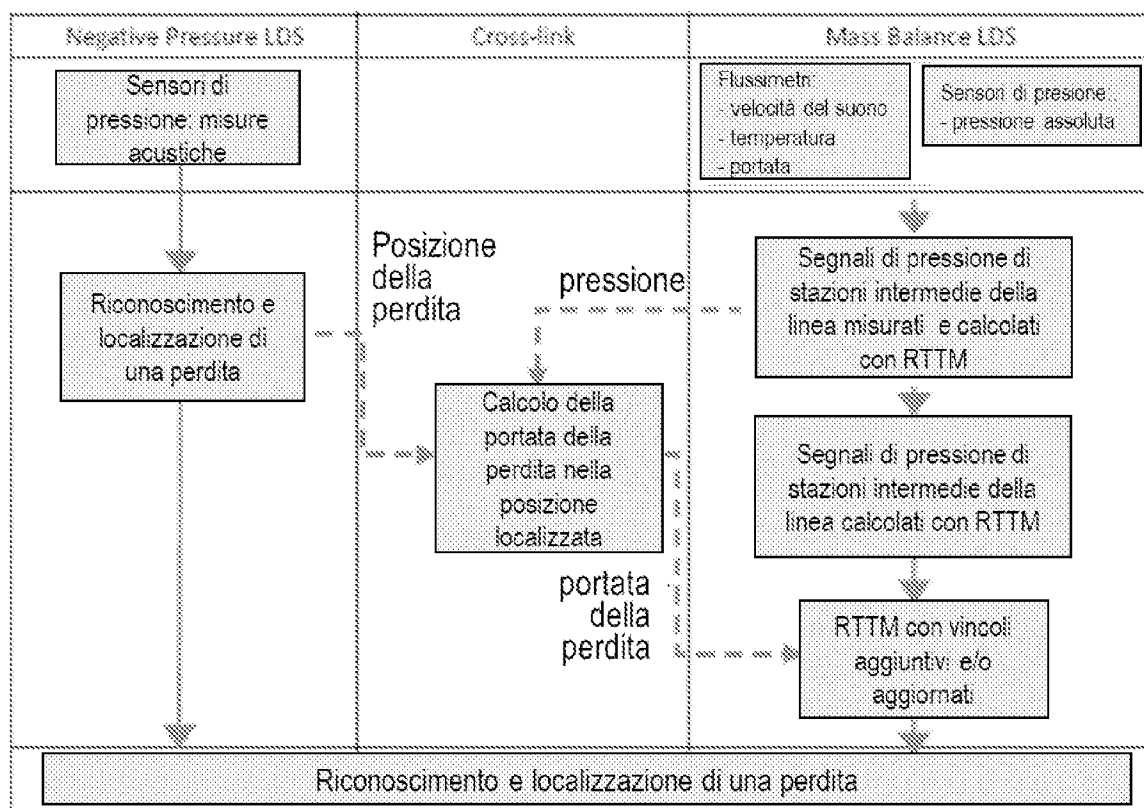


Fig. 13

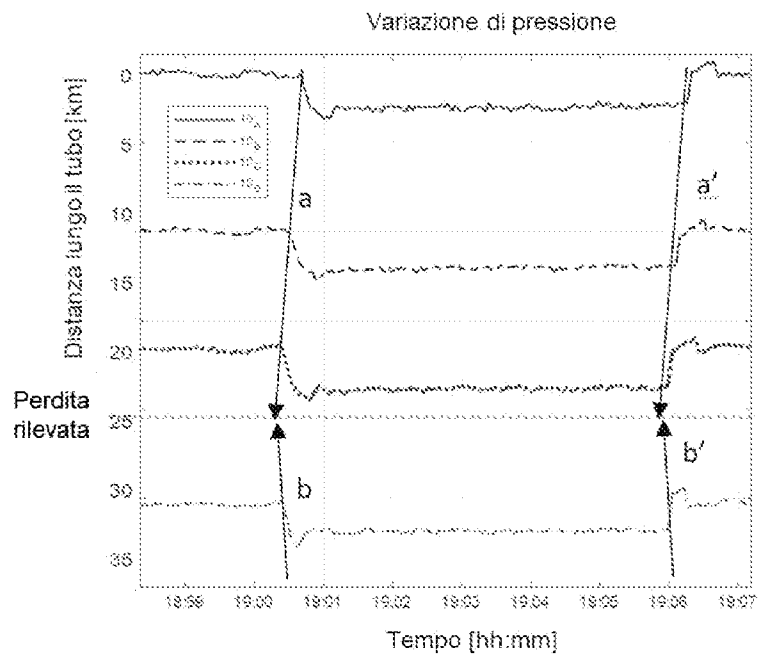


Fig. 14

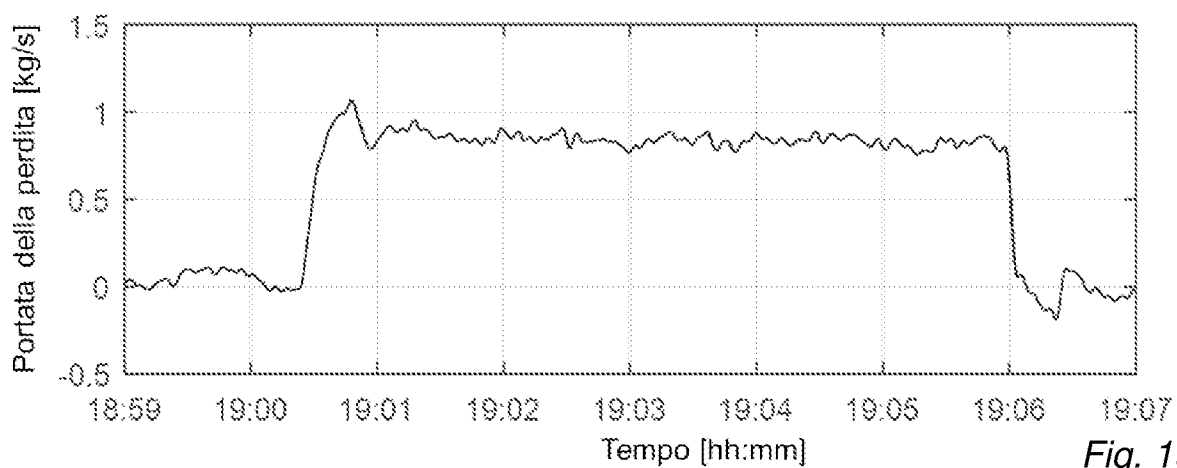


Fig. 15

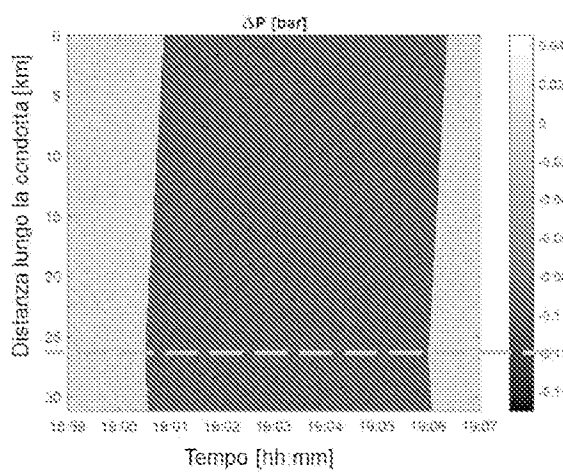


Fig. 16

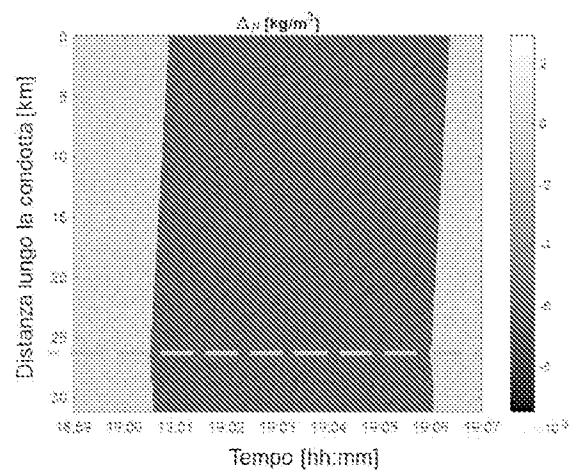


Fig. 17

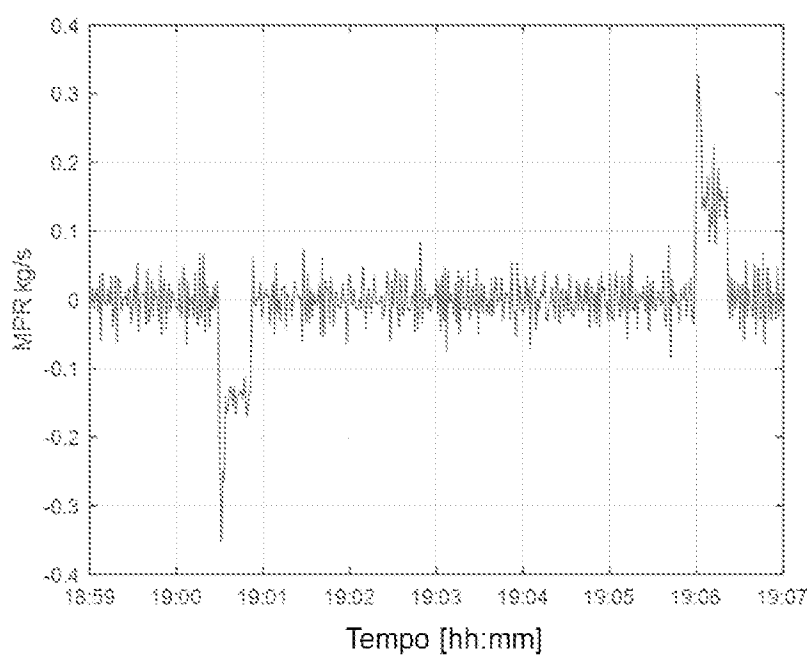


Fig. 18