

Luigi Battista

Misura del flusso nella ventilazione polmonare

Un sistema innovativo in fibra ottica più robusto alle fluttuazioni di intensità

A NOVEL FIBER-OPTIC SENSING TECHNIQUE FOR FLOW MEASUREMENT DURING NEONATAL MECHANICAL VENTILATION

This paper reports the development of an optical fiber flow sensor for neonatal mechanical ventilation. The sensor is based on a novel fiber-optic sensing technique allowing it to be less sensitive to light intensity fluctuations independent by the measurand than intensity-based sensors.

RIASSUNTO

Nel presente lavoro viene descritta la realizzazione di un sensore di flusso in fibra ottica per la ventilazione polmonare neonatale. Il sistema di misura è basato sull'impiego di un principio di funzionamento innovativo che permette, rispetto ai sensori basati sulla modulazione dell'intensità, la riduzione degli errori dovuti alle fluttuazioni dell'intensità luminosa indipendenti dal misurando.

LA MISURA DEL FLUSSO DURANTE LA VENTILAZIONE POLMONARE NEONATALE

La misura del flusso durante la ventilazione polmonare praticata nelle unità di terapia intensiva neonatale è di cardinale importanza in quanto, anche per via delle piccole dimensioni dei pazienti (la massa dei neonati prematuri è tipicamente compresa tra qualche centinaio di grammi e qualche kilogrammo), è assolutamente necessario monitorare accuratamente la quantità di miscela gassosa erogata dal ventilatore al neonato al fine di ridurre il rischio di barotraumi causati da una ventilazione non ottimale.

La maggior parte dei sensori di flusso commerciali si basa su un principio di funzionamento elettrico o elettromagnetico: sono pertanto soggetti alle interferenze elettromagnetiche, e il segnale sensoriale è quindi esposto a errori. Inoltre, perché tali sensori siano impiegabili in ambito clinico, il costruttore deve adottare una serie di accorgimenti tecnici al fine di garantire la sicurezza elettrica per il paziente e gli operatori.

Al fine di ridurre tali inconvenienti,

presenti non solo nella ventilazione polmonare ma anche nella maggior parte degli ambiti biomedici, sono stati proposti molteplici sistemi di misura in fibra ottica per applicazioni medicali [1]. Infatti i sensori in fibra ottica, essendo caratterizzati da immunità alle interferenze elettromagnetiche e da un elevato grado d'isolamento elettrico [2], consentono rispettivamente di ridurre gli errori dovuti alle interferenze elettromagnetiche (presenti, ad esempio, durante un esame di risonanza magnetica o durante l'esecuzione di un intervento di elettrochirurgia praticato con elettrobisturi) e di ridurre le problematiche inerenti la sicurezza elettrica, in quanto sono necessari, da parte del costruttore, minori accorgimenti tecnici per garantire tale condizione di sicurezza.

La maggior parte dei sensori in fibra ottica proposti sono basati sull'impiego di reticoli di Bragg (*Fibre Bragg Grating*, FBG) e sulla modulazione d'intensità luminosa (*intensity-based sensors*): i primi necessitano dell'impiego di componenti quali analizzatore di spettro ottico o d'interrogatore di FBG, che richiedono un certo investimento (tipicamente

tra circa i 20.000 € e 40.000 €) e sono caratterizzati da una velocità di scansione della lunghezza d'onda non sempre adeguata [2]; d'altra parte, hanno il vantaggio di essere basati sulla variazione della lunghezza d'onda della radiazione trasmessa/riflessa e, conseguentemente, sono immuni dagli errori dovuti alle variazioni d'intensità luminosa indipendenti dal misurando. I secondi, invece, sono tipicamente economici e costruttivamente semplici, ma hanno lo svantaggio di essere affetti dagli errori dovuti alle variazioni d'intensità luminosa indipendenti dal flusso.

Presso il *Laboratorio di misure meccaniche, termiche e collaudi* dell'Università degli Studi Roma Tre, è stato realizzato un sistema in fibra ottica per la misura del flusso basato su un principio di funzionamento innovativo che consente di ottenere, pur mantenendo una configurazione sensoriale semplice ed economica, una elevata robustezza alle variazioni d'intensità luminosa indipendenti dal misurando. Inoltre, come evidenziato nei paragrafi seguenti, tale sistema di misura è stato sviluppato per la misura dei valori di portata volumetrica d'aria tipicamente incontrati nell'ambito della ventilazione polmonare neonatale [3-4].

Dip. di Ingegneria, Università degli Studi Roma Tre
luigi.battista@uniroma3.it
luigi-battista@virgilio.it

Più precisione

Sensori di misura

Estensimetri

Estensimetri elettrici a resistenza mono-direzionali o a rosetta (2 e 3 direzioni)
Esecuzioni saldabili, annegabili, pre-cablate



Accelerometri

Piezoelettrici o MEMS
Monoassiali o triassiali
IEPE o charge
Opzioni alta temperatura, TEDS



Microfoni

Tipo free field, pressure o random
Dimensioni 1, 1/2, 1/4 e 1/8 pollici
Versioni IEPE, TEDS, low noise, array
Sonde intensimetriche



Sensori laser di spostamento

Campi di misura da 0,5 mm a 1.000 mm
Risoluzione a partire da 0,03 micron
Frequenze di campionamento fino a 50 kHz
Adatti per misure su qualsiasi tipo di superficie



Termometri a infrarossi

Temperature da -50 a 2.200°C
Puntatore laser a doppio raggio
Tempo di risposta a partire da 1 msec
Uscite analogiche e digitali



Torsionometri

Flange torsionometriche con trasmissione telemetrica
Coppie da 50 a 100.000 Nm
Ingombro assiale ridotto
Rilevazione del numero giri (RPM)



LA MISURA DEL PROFILO D'INTENSITÀ LUMINOSA PER RIDURRE GLI EFFETTI DELLE FLUTTUAZIONI OTTICHE

Il sistema di misura realizzato è costituito da una fibra ottica disposta trasversalmente in un condotto, con una estremità incastrata e con l'altra libera (Fig. 1). La fibra ottica viene deflessa per azione del flusso presente all'interno del condotto: misurando lo spostamento dell'estremità libera della fibra ottica, è possibile risalire al flusso di processo.

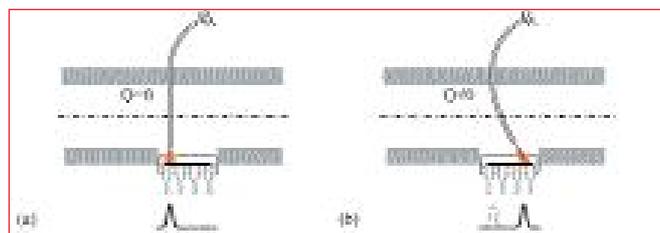


Figura 1 – Schema del sensore di flusso.

(a) In corrispondenza di un flusso Q nullo, viene individuata una posizione di riferimento corrispondente alla posizione del fotodiode caratterizzato dal maggiore valore d'intensità luminosa misurata. (b) Quando il flusso varia ($Q \neq 0$), la fibra ottica si muove e di conseguenza anche il valore massimo della distribuzione d'intensità luminosa si sposta dalla sua iniziale posizione di riferimento lungo la direzione dell'array

La misura di tale spostamento può essere ottenuta mediante l'impiego di una scheda di acquisizione connessa a un array lineare di 128 fotodiodi, posizionato di fronte all'estremità libera della fibra ottica emettitrice al fine di misurare il profilo d'intensità all'uscita della fibra stessa. Tale profilo, rilevato mediante l'array di fotodiodi connesso alla scheda di acquisizione, è caratterizzato da un valore massimo d'intensità che trasla lungo l'array di fotodiodi in funzione del valore di flusso presente nel condotto: la posizione del fotodiode maggiormente illuminato dell'array di fotodiodi è quindi correlata al flusso (Fig. 1).

Il principio di funzionamento è caratterizzato dal fatto che l'informazione sensoriale (in questo caso, il flusso) è contenuta all'interno della distribuzione d'intensità luminosa e della posizione in cui si misura il suo valore massimo, che non dipende né dal livello totale di luce (nel caso in cui il valore d'intensità luminosa rilevata è al di sopra della soglia di rumore) né dalle fluttuazioni d'intensità luminosa indipendenti dal misurando. Pertanto, contrariamente ai sensori basati sulla modulazione dell'intensità luminosa, se quest'ultima varia durante un flusso costante, il valore massimo del profilo d'intensità cambia, ma la posizione del fotodiode dell'array maggiormente illuminato rimane pressoché invariata, confermando l'indipendenza del flusso misurato dalle variazioni d'intensità luminosa indipendenti dal misurando.



LUCHSINGER
sensori e strumenti

24035 CURNO (BG) - Via Bergamo, 25
Tel. 035 462 678 - Fax 035 462 790
info@luchsinger.it - www.luchsinger.it

50°
1963 2013

LA CATENA DI MISURA PER RILEVARE IL PROFILO D'INTENSITÀ LUMINOSA

Al fine di verificare il funzionamento del sistema proposto, sono state condotte prove sperimentali con la catena di misura illustrata in Fig. 2. La luce emessa da una sorgente L (ad esempio un LED) è collimata all'interno di una fibra ottica mediante un collimatore asferico C; la luce si propaga all'interno della fibra ottica OF, fuoriesce dall'estremità libera della fibra ottica stessa e si proietta sulla superficie sensibile dell'array di fotodiodi A. L'array A converte il profilo d'intensità incidente su di esso in un segnale elettrico, che è successivamente acquisito per mezzo di una scheda di acquisizione AC che lo invia a un laptop PC, sul quale è impiegato un software per acquisizione ed elaborazione dati: la posizione del fotodiodo maggiormente illuminato dell'array, ottenuta mediante l'elaborazione digitale dei dati, viene poi correlata al flusso Q presente all'interno del condotto P.



Figura 2 – Schema della catena di misura (non in scala).
L: LED impiegato per alimentare la fibra ottica;
OF: fibra ottica; AC: scheda di acquisizione dati;
C: collimatore asferico; P: condotto;
PC: laptop; A: array di fotodiodi

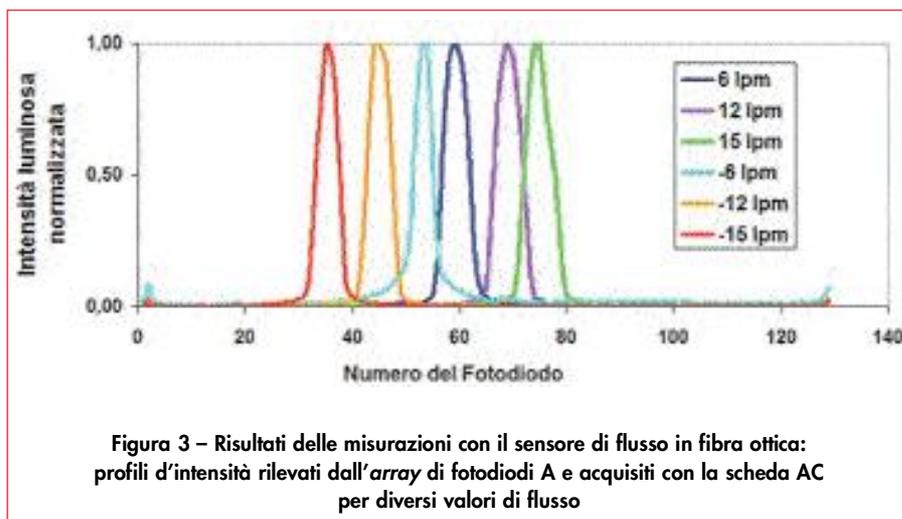


Figura 3 – Risultati delle misurazioni con il sensore di flusso in fibra ottica: profili d'intensità rilevati dall'array di fotodiodi A e acquisiti con la scheda AC per diversi valori di flusso

Il modulo di uscita digitale della scheda AC può essere utilizzato al fine di generare i segnali di *Serial Input* (segnale d'inizio scansione dell'array di fotodiodi) e di *Clock*, necessari per garantire la corretta temporizzazione dell'array di fotodiodi.

Le prove sperimentali sono state effettuate per diversi valori di flusso che sono stati impostati regolando la pressione di uscita di un compressore in modo che un sensore di flusso di riferimento RF connesso alla stessa scheda di acquisizione AC e disposto in serie al sensore di flusso in fibra ottica proposto, indicasse il valore di flusso stabilito per condurre la prova sperimentale.

fino a 18 l/min, ossia i valori di portata volumetrica normalmente incontrati nella ventilazione polmonare neonatale e con pazienti di massa fino a 10 kg [5]. In Fig. 3 sono mostrati i profili d'intensità luminosa per diversi valori di flusso, ottenuti acquisendo con la scheda AC l'uscita dell'array di fotodiodi.

Successivamente la stessa catena di misura è stata impiegata per effettuare acquisizioni di dati anche durante prove spirometriche e durante prove eseguite con ventilatori polmonari neonatali (Fig. 4): i risultati che emergono dalle prove sperimentali mostrano che le misure ottenute con il sensore di flusso in fibra ottica sono in accordo con quelle ottenute mediante l'impiego del sensore di flusso di riferimento.

LA PROPOSTA DI UN NUOVO PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

GLI ESPERIMENTI ESEGUITI

Mediante l'esecuzione di prove sperimentali condotte con la catena di misura indicata in Fig. 2, si è verificato che il sistema di misura proposto è in grado di misurare flussi

Nel presente lavoro si è descritto il funzionamento di un sensore di flusso in fibra ottica per applicazioni di ventilazione polmonare neonatale basato su un principio di funzionamento innovativo che consente l'immunità alle variazioni d'intensità luminosa indipendenti dal misurando, in quanto il dispositivo è basato su una tecnica differenziale che prevede la misura del profilo d'intensità emesso da una fibra ottica.

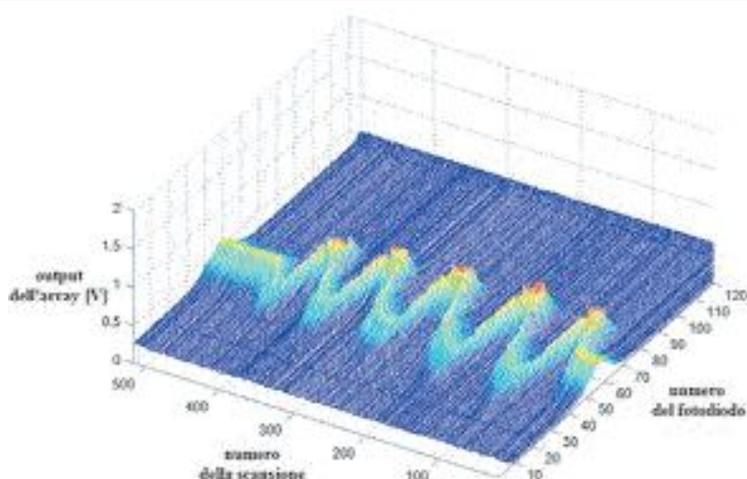


Figura 4 – Acquisizioni consecutive dell'uscita dell'array di fotodiodi durante la prova respiratoria; i risultati ottenuti considerando più scansioni consecutive mostrano una forma d'onda caratterizzata dall'alternanza tra inspirazione ed espirazione

NEWS ▶

NUOVO TRASDUTTORE DI DEFORMAZIONE AD ALTA SENSIBILITÀ



La misurazione della forza nelle macchine è straordinariamente precisa, se i sensori di forza sono montati direttamente nel flusso della forza. In questo caso, però, la macchina deve essere adattata al sensore, operazione non sempre realizzabile.

I sensori di deformazione rappresentano un'alternativa collaudata a tale scopo: essi sfruttano le deformazioni degli oggetti di misura nel momento dell'applicazione della forza, ad esempio nei compiti di monitoraggio per il controllo degli edifici. Tali deformazioni sono proporzionali alla forza e misurabili tramite i trasduttori di deformazione. I sensori basati su estensimetri offrono, in moltissimi casi, un'economica alternativa ai sensori di forza integrati. Il loro limite, però, è rappresentato dalle deformazioni minime: un esempio è costituito da quegli oggetti che, se sollecitati, presentano solo deformazioni di scarsa entità, quali presse, impianti di saldatura o macchine per crimpare, oppure nei casi in cui lo spazio disponibile è limitato. Con il nuovo trasduttore di deformazione piezoelettrico *CST/300*, HBM supera tali limiti. L'elevata sensibilità di circa 50 pC/N assicura segnali di uscita molto elevati e, perciò, una buona riproducibilità anche in ambienti di misura critici. Le deformazioni minime di 10 µm/m o meno o le deformazioni nominali fino a 300 µm/m possono essere rilevate immediatamente senza difficoltà. Con un'adeguata taratura, è possibile determinare senza problemi le forze applicate. Fissato con un'unica vite e dotato di una lunghezza di soli 47 mm, il trasduttore occupa pochissimo spazio ed è resistente nei confronti degli influssi esterni, quali i movimenti dei cavi o i campi elettromagnetici.

Per ulteriori informazioni:
www.hbm.com/it/menu/prodotti/trasduttori-e-sensori

Sebbene sia stato sperimentalmente verificato un accordo tra le misure ottenute con il sensore di flusso in fibra ottica e quelle ottenute mediante l'impiego del sensore di flusso di riferimento (sia durante prove spirometriche che durante prove eseguite, in ambiente non strutturato, con ventilatori polmonari tipicamente utilizzati nelle terapie intensive neonatali), sono in corso di sviluppo ulteriori configurazioni sensoriali per migliorare le caratteristiche statiche e dinamiche del sistema di misura considerato.

Instruments, Vol. 84 (3), 035005, 2013.

4. L. Battista, A. Scorza, S.A. Sciuto, "Preliminary evaluation of a simple optical fiber measurement system for monitoring respiratory pressure in mechanically ventilated infants", Proc 9th IASTED Int Conf on Biomedical Engineering, pp. 443-449, 2012.

5. U. Frey, J. Stocks, A. Coates, P. Sly and J. Bates, "Specifications for equipment used for infant pulmonary function testing", Eur Respir J., Vol. 16, pp. 731-740, 2000.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. P. Rolfe, F. Scopesi and G. Serra, "Advances in fibre-optic sensing in medicine and biology" Meas. Sci. Technol., Vol.18, pp.1683-1688, 2007.

2. B. Lee, "Review of the present status of optical fiber sensors", Optical Fiber Technology, Vol. 9, pp. 57-79, 2003.

3. L. Battista, A. Scorza, S.A. Sciuto, "An air flow sensor for neonatal mechanical ventilation application based on a novel fiber-optic sensing technique", Review of Scientific



Luigi Battista si è laureato in Ingegneria Biomedica nel 2009. Attualmente sta concludendo il Dottorato di Ricerca in Ingegneria presso il Laboratorio di Misure Meccaniche, Termiche e Collaudi dell'Università di Roma Tre, è assegnista di ricerca presso l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR ed è docente a contratto di Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici. Si occupa principalmente di sensori in fibra ottica, strumentazione biomedica e misure in ambito biomedico.